

Univerzita Karlova
Přírodovědecká fakulta

Studijní program: Geologie
Studijní obor: Aplikovaná geologie



Bc. Jiří Štěpán

Některá agresivní horninová prostředí na území Prahy, jejich podzemní voda a s tím související ochrana stavebních konstrukcí

Some aggressive rock environment in the area of Prague, the groundwater and the associated protection of building structures

Typ závěrečné práce

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce: RNDr. Jan Král

Praha, 2017

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 15. 5. 2017

Podpis

Poděkování

Mé poděkování patří vedoucímu bakalářské práce RNDr. Janu Královi za odborné vedení, trpělivost a cenné rady. Za poskytnuté podklady děkuji firmě PUDIS a.s. a zejména RNDr. Radovanu Chmelařovi, Ph.D. za ochotu a pomoc při získávání dat v archivu firmy.

OBSAH:

1	Abstrakt	6
2	Abstract	7
3	Úvod	8
4	Základní geologie Prahy	9
4.1	Historická geologie	9
4.2	Geologické poměry Prahy	10
4.2.1	Proterozoikum	10
4.2.2	Paleozoikum	10
4.2.3	Mezozoikum	11
4.2.4	Kenozoikum - paleogén, neogén	12
4.2.5	Kenozoikum - kvartér	12
5	Popis zájmového území	13
5.1	Vymezení zájmového území	13
5.2	Morfologické poměry	13
5.2.1	Morfologický vývoj území	14
5.3	Geologické poměry	14
5.3.1	Ordovické horniny	15
5.3.2	Svrchnokřídové horniny	17
5.3.3	Kvartérní uloženiny	18
5.4	Hydrogeologické poměry	19
5.4.1	Podzemní voda v souvrstvích ordoviku	19
5.4.2	Podzemní voda ve svrchnokřídových horninách	21
5.4.3	Podzemní voda v kvartérních uloženinách	21
6	Agresivita podzemní vody	23
6.1	Historie	23
6.2	Zdroje agresivity podzemní vody na beton	23

6.2.1	Síranová agresivita	25
6.2.2	Uhličitá agresivita	26
6.2.3	Kyselost vody	27
6.2.4	Hořčíková agresivita	27
6.2.5	Agresivita amoniakálního dusíku.....	27
6.2.6	Výskyt pyritu.....	28
6.3	Opatření proti agresivitě vody na beton	28
6.4	Zdroje agresivity podzemní vody na kovy	29
6.5	Opatření proti agresivitě vody na kovové konstrukce.....	29
7	Metodika.....	31
8	Diskuze	36
8.1	Vyhodnocení agresivity na beton.....	36
8.1.1	Vyhodnocení nově provedených chemických rozborů	46
8.2	Vyhodnocení agresivity na ocel	48
9	Závěr.....	49
10	Seznam použité literatury	50
11	Seznam obrázků, tabulek a grafů	53
12	Přílohy	55
12.1	Chemické rozborý vzorků podzemní vody z vrtů	55
12.2	Chemické rozborý vzorků podzemní vody ze studní	62
12.3	Nově provedené chemické rozborý vzorků podzemní vody ze studní.....	70
12.4	Geologická dokumentace vrtů	
12.5	Situace vrtů a studní v geologické mapě odkryté list Praha 2-3	
12.6	Geologický řez AA‘	

1 ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá agresivitou podzemní vody na území jednoho listu podrobné inženýrskogeologické mapy Prahy 1:5000, list Praha 2-3. Cílem této práce je snaha o ověření, do jaké míry se horninové prostředí podílí na chemickém složení podzemní vody.

K vyhodnocení chemických rozborů je použito mezních hodnot uvedených v platné normě ČSN EN 206 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.

Z chemických rozborů vzorků podzemní vody, u kterých byly stanoveny agresivní složky (SO_4^{2-} , CO_2 , pH, NH_4^+ , Mg^{2+}) a celková mineralizace vyplývá, že horninové prostředí se na chemickém složení podzemní vody v zájmovém území podílí velice významně. Chemismus podzemní vody je ovlivněn rychlostí proudění, a tedy dobou kontaktu vody s horninovým podložím, lokálním složením horniny a jejími akcesoriemi zejména pyritem.

Podzemní voda ordovických souvrství v zájmovém území je většinou silně mineralizována a je kalcium-síranová. Podzemní voda dobrotivského a libeňského souvrství je výrazně méně agresivní, než voda letenského, vinického a zahořanského souvrství. Chemismus podzemní vody perucko-korycankého souvrství odpovídá souvrství letenskému, na kterém spočívá.

2 ABSTRACT

This master thesis deals with groundwater aggressiveness on one sheet of detailed engineering geology map of Prague 1:5000, sheet Praha 2-3. The aim of this thesis is an effort to verify how much geological environment participates in chemical composition of groundwater.

The chemical analyses were evaluated using limit values stated in valid norm ČSN EN 206 Concrete – Specification, performance, production and conformity.

The chemical analyses that analysed aggressive components (SO_4^{2-} , CO_2 , pH, NH_4^+ , Mg^{2+}) and total dissolved solids discovered that the geological environment affects the chemical composition of groundwater very strongly. The chemical composition of groundwater is influenced by groundwater velocity and therefore by the time which the water stays in contact with the geological environment, by local composition of the rock and its accessories especially pyrite.

Groundwater in Ordovician formations in the area of interest usually contains high amount of dissolved solids and it is calcium-sulphate. Groundwater of Dobrotiv and Libeň formations are significantly less aggressive than groundwater of Letná, Vinice and Zahořany formation. The chemical composition of groundwater in Peruc-Korycany formation corresponds with Letná formation on which it lies.

3 ÚVOD

Tato práce byla vypracována v rámci magisterského studia v letech 2015 až 2017 na Univerzitě Karlově. Cílem této práce je snaha o ověření, do jaké míry se horninové prostředí Prahy podílí na chemickém složení podzemní vody. S ohledem na mé zaměření na inženýrskou geologii jsem se věnoval obsahu sloučenin a reakci podzemní vody ve vztahu k betonovým konstrukcím. Podklady použité v této práci jsou součástí zejména podrobné inženýrskogeologické mapy Prahy 1:5000.

4 ZÁKLADNÍ GEOLOGIE PRAHY

4.1 HISTORICKÁ GEOLOGIE

Skalní podklad Prahy byl utvářen v proterozoiku, paleozoiku a v křídě. Horniny proterozoika a paleozoika tvořící jednotku Barrandienu na území Prahy převažují. Křída je zastoupena Českou křídovou pánví a jejími denudovanými relikty.

Horniny proterozoika (starší než 541 Ma, <http://www.stratigraphy.org> 2016/04) se usazovaly v mobilním prostoru, do něhož bylo z pevniny a vulkanických elevací přinášeno velké množství klastického materiálu vulkanického i pevninského původu. V průběhu kadomské orogeneze se barrandienské proterozoikum stalo součástí aktivního kontinentálního okraje Gondwany (Chlupáč et al, 2011). „Sedimentace byla po většinu doby provázena mohutnou podmořskou vulkanickou činností, jejímž produktem byly hlavně různé typy bazaltových vyvřelin.“¹

Horniny paleozoického stáří jsou na území Prahy zastoupeny horninami ordoviku, siluru a devonu. Na počátku ordovické periody (485 – 444 Ma, <http://www.stratigraphy.org> 2016/04) se mezi Avalonií a Gondwanou zakládá Rheický oceán (Chlupáč et al, 2011), ve kterém dochází k otevření sedimentačního prostoru, jehož součástí je i oblast Středních Čech a Prahy. Tato pánev protažená ve směru sv.-jz. bývá označována jako pražská pánev (Havlíček, 1982). Kvůli neustálému rozpínání Rheického oceánu dochází během sedimentace k významným poklesům v osové části pánve a k zaplnění tohoto prostoru sedimenty o mocnosti dosahující až dva tisíce metrů (Chlupáč, 1999).

Po výrazně chladném výkyvu ve svrchním ordoviku dochází zvláště během spodního siluru k poměrně rychlému oteplování. To se projevilo eustatickým zdvihem mořské hladiny a mořskými transgrese, které vedly k náhlému nástupu facie černých graptolitových břidlic. V siluru (444 – 419, Ma <http://www.stratigraphy.org> 2016/04) se šířka oceánských oblastí mezi Gondwanou a nově vzniklým kontinentem Laurusií podstatně zmenšovala, protože se kontinent Gondwana posunoval k severu směrem k Laurusii, tedy do výrazně teplejších klimatických pásem jižní polokoule, což se přímo dotýkalo i našeho území. Došlo k změně charakteru uloženin a při sedimentaci začínají převládat vápence. (Chlupáč et al, 2011).

¹ CHLUPÁČ, Ivo et al. *Geologická minulost České republiky*. Praha 2011, s. 36.

„Devonské uložení jsou nejmladší součástí varisky zvrásněného paleozoika Barrandienu.“² V průběhu devonu (419 – 359 Ma, <http://www.stratigraphy.org> 2016/04) se kontinent Gondwana ve srovnání se silurem výrazně posouval k severu, tedy do tropického pásma jižní polokoule. Uložení spodního a nižšího středního devonu se vyznačují vápencovým vývojem. Ve středním devonu došlo k výrazné a náhlé změně při sedimentaci a začaly převládat černošedé vápnité břidlice. Bylo to způsobeno eustatickým zdvihem hladiny a výstupem chladných oceánských vod do šelfových oblastí, což je označováno jako globální kačácký event (Chlupáč et al, 2011).

Až do období křídy (145 – 66 Ma, <http://www.stratigraphy.org> 2016/04) na území Prahy nedocházelo k tvorbě dalších hornin. Do oblasti Prahy zasahuje až Česká křídová pánev a její denudační reliktů původně rozsáhlých a mocných uložení. Česká křídová pánev vznikla oživením vertikálních pohybů v oslabené zóně labské linie směru sz.-jv. V počátečním stádiu byla vyplňována sladkovodními sedimenty, po mohutné cenomanské transgresi sedimenty mořskými (Chlupáč et al, 2011).

4.2 GEOLOGICKÉ POMĚRY PRAHY

4.2.1 Proterozoikum

Proterozoický skalní podklad vystupuje jen na okrajích Prahy. V oblasti severního až severozápadního okraje Prahy se nachází horniny kralupsko-zbraslavské skupiny, kterou dělíme na velmi mocné blovičské souvrství a davelské souvrství známé pouze z jižního okolí Prahy. Obě souvrství se liší hlavně složením vulkanických hornin. V celé skupině převládají tmavé jílové břidlice, prachovce, droby a vulkanické produkty. Nejmladší jednotkou proterozoika Barrandienu je štěchovická skupina, která odráží ve svém vývoji počínající horotvorné procesy kadomského vrásnění. Je to sled rytmicky se střídajících šedých prachovitých a jílovitých břidlic, prachovců a drob (Chlupáč et al, 2011).

4.2.2 Paleozoikum

Ordovik spočívá na zvrásněném svrchním proterozoiku diskordantně. Nejstarší jednotkou ordoviku je třenické souvrství tvořené křemennými pískovci, drobami a arkózami. V nadložním milínském souvrství vystupují hlavně sedimentární silicity. Nápadnou změnu režimu v mořské pánvi a postupující mořskou transgresi odráží

² CHLUPÁČ, Ivo et al. *Geologická minulost České republiky*. Praha 2011, s. 116.

klabavské souvrství. Jeho typickou facií jsou šedozelené břidlice s vulkanickou příměsí. V ordovických souvrstvích je možné sledovat pravidelné střídání mocných jílovitých břidlic s méně mocnými souvrstvími písčitými, která jsou většinou vyvinuta jako křemence, ale záleží na odchylkách facií v jednotlivých souvrstvích, stáří povrchu území a na tektonickém porušení horniny. K písčitým souvrstvím patří křemence skaleckých a řevnických vrstev s letenským a kosovským souvrstvím. K pelitickým sedimentům patří břidlice šarecké, dobrotivské, libeňské, vinické, zahořanské, bohdalecké a královské (Záruba, 1948). Toto střídání pelitických a psamitických uloženin ukazuje na kolísání hladiny moře v ordoviku (Měska a Prantl, 1946).

Silurské uloženiny tvoří většinou méně mocná souvrství, než tomu bylo v ordoviku. Ve spodním siluru převládají graptolitové břidlice zastoupené v liteňském souvrství. Nadložní kopaninské souvrství je tvořené vápnitými břidlicemi. Představitelem stratigraficky nejvyšší jednotky siluru je přídolské souvrství, ve kterém jsou zastoupeny jemnozrnné vápence s vložkami vápnitých břidlic (Chlupáč et al, 2002).

Devonské sedimenty spočívají zcela konkordantně na uloženinách silurských. Na hranici devonu a siluru nedošlo ani k hiátům, ani k výrazným faciálním změnám. Vrstevní sled počíná lochkovským souvrstvím, jehož spodní hranice je totožná s hranicí silur-devon. Souvrství vyznačující se vápencovým vývojem jsou lochkovské, pražské a zlíčovské. Na ně navazuje dalejsko-třebotvské souvrství s facií zelenošedých vápnitých dalejských břidlic, důvodem nástupu břidlic je eustatický zdvih mořské hladiny (tzv. dalejský event). Směrem do nadloží, v širším hledisku i horizontálně přecházejí dalejské břidlice do červenavých až světle šedých, velmi jemnozrnných třebotvských vápenců. V nadložním souvrství chotečském převažují tmavě šedé vápence s rohovci. Nejvyšší stratigrafickou jednotkou devonu je srbské souvrství vyznačující se náhlou změnou charakteru sedimentace. Nastupují černošedé vápnité břidlice kačáckých vrstev (tzv. globální kačácký event) na které později navazují vrstvy roblínské, které se vyznačují zesvětlením sedimentů (Chlupáč et al, 2011).

4.2.3 Mezozoikum

Paleozoická zvrásněná souvrství jsou na návrších zakryta uloženinami křídovými, jejichž téměř vodorovné vrstvy vystupují na Strahově, Bílé Hoře, Proseku i jinde na obvodu města. Křídové sedimenty jsou cenomanského a turonského stáří a jsou zastoupeny peruckými jílovci a pískovci se slojkami uhlí, korycanskými kvádrovými

křemitými pískovci, bělohorskými glaukonitickými jílovci a písčitými slínovci-opukami (Chlupáč et al, 2002).

4.2.4 Kenozoikum - paleogén, neogén

Převážně fluviální, částečně fluviolakustrinní písky a štěrky převážně jílovité vyplňující terénní deprese, předterciérní deprese jsou řazeny k miocénu. Na území Prahy jsou tyto sedimenty řazené ke klineckému stadiu (Záruba-Pfeffermann, 1943), zachovány jsou např. na Bílé Hoře.

Pliocenní fluviální a fluviolakustrinní sedimenty se ve větším plošném rozsahu a mocnostech zachovaly na severu Prahy mezi Čimicemi, Kobylisy, Dolními Chabry a Ďáblicemi. Jsou to méně mocné 3-5 m písčité štěrky a jílovité písky až jílovité štěrkopísky o mocnosti až 40 m patřících ke zdíbskému stadiu nejstarší vltavské terasy.

4.2.5 Kenozoikum - kvartér

„Horniny skalního podkladu vystupují na území města velmi zřídka až na povrch, jsou většinou zakryty přemístěnými eluviálními a deluviálními sutěmi a hlínami a různými říčními i potočními sedimenty. K pokryvným útvarům náležejí především terasové stupně v několika vyšších úrovních, jež naznačují postupný vývoj vltavského údolí v pleistocénu. K nejmladším sedimentům patří holocenní hlinitopísčité a jílovité náplavy uložené na údolních štercích. Povrch těchto holocenních náplavů naznačuje původní údolní nivu, jež je v celém vnitřním městě zakryta recentními násypy nejrozličnější povahy a značné mocnosti.

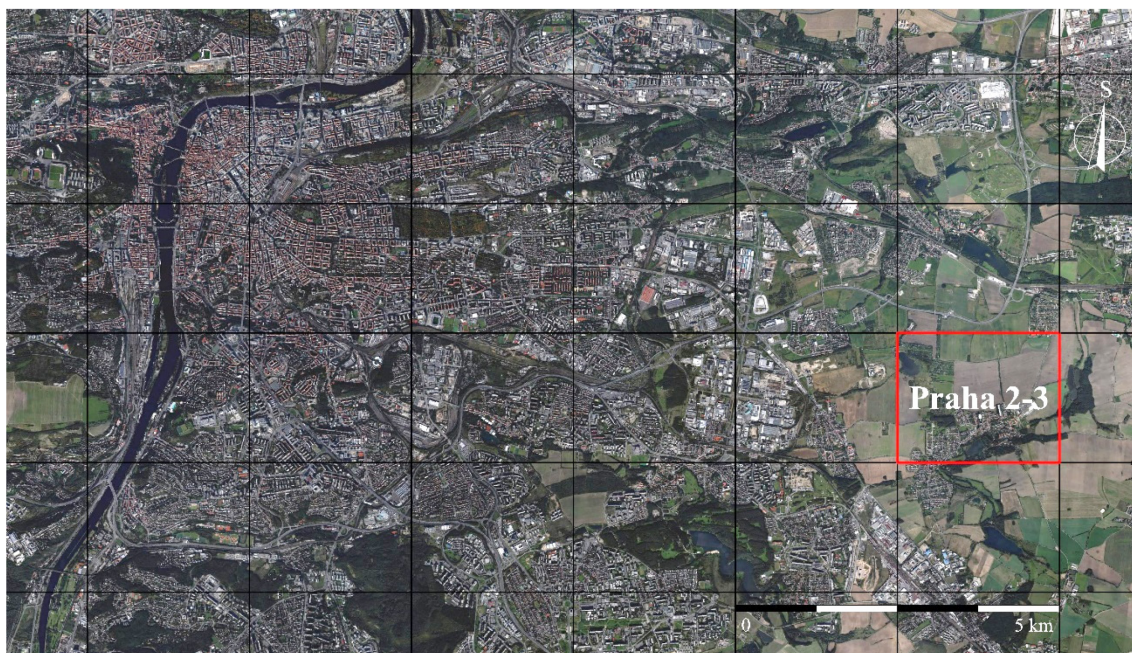
Na závětrných svazích se zachovaly pleistocenní eolické sedimenty, spraše a sprašové hlíny, které zejména v severozápadní části města jsou značně rozšířeny.“³

³ ZÁRUBA, Quido. *Geologický podklad a základové poměry vnitřní Prahy*. Praha: Státní geologický ústav Československé republiky. 1948, s. 23.

5 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

5.1 VYMEZENÍ ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Zájmové území je vymezeno jedním listem podrobné inženýrskogeologické mapy Prahy v měřítku 1:5000 o rozměrech 2x2,5 km a ploše 5 km². Jedná se o list Praha 2-3. Dle map (<http://www.geoportalpraha.cz>) se tento list nachází na území Prahy 15 (Dubeč, Dolní Měcholupy) a Prahy 21 (Běchovice).



Obrázek 1 Lokalizace zájmového území (Zdroj Google Earth, datum snímku: 2. 4. 2016, datum odebrání snímku: 11. 12. 2016)

5.2 MORFOLOGICKÉ POMĚRY

Podle Balatky (1987) zájmové území spadá do Úvalské plošiny, která je součástí Pražské plošiny resp. Poberounské subprovincie. Reliéf zájmového území je vcelku plochý, většinou s velmi mírnými sklony svahů. Nadmořská výška povrchu se pozvolna zvedá od 240 až do 286 m n. m. Dle Šolce (1980) se závislost členitosti povrchu území na horninách skalního podkladu uplatňuje jen částečně. Většina zájmového území leží na horním toku potoků nebo přímo v pramenných oblastech. Pokryv skalního podloží tvoří na převážné většině mapového listu kvartérní uloženiny mocné 0 – 2 m. Zvýšené mocnosti kvartérních pokryvů jsou v okolí vodotečí a to Říčanského a Hostavického potoka. Nejvýše je povrch území při jihovýchodní hranici mapy (286 m n. m.). Nejnižší je povrch v místech, kde vodoteče opouštějí území mapového listu (Hostavický potok 240 m n. m., Říčanský potok 240 m n. m.).

5.2.1 Morfologický vývoj území

V zájmovém území vystupují horniny ordovického a křídového stáří. Než došlo k uložení svrchnokřídových hornin, bylo území souší, kde působily zvětrávací a denudační procesy. Transgrese křídového moře se rozšířila od severu. Jejím výsledkem bylo uložení mohutného souvrství slepenců a pískovců. Ještě ve svrchní křídě však započalo zarovnání povrchu, které pokračovalo v paleogénu a neogénu. V této době již byly svrchnokřídové horniny téměř denudované a transportované do sníženin peneplenizovaného reliéfu (Šolc, 1980).

V pleistocénu pokračuje snižování povrchu a dochází k zahlubování říční sítě. Na hlavních tocích vznikají terasové stupně. V zájmovém území došlo k intenzivnější hloubkové erozi pouze na Říčanském potoce, jehož tok je doprovázen terasovými akumulacemi. Není vyloučeno, že valouny a písky v málo mocných pokryvech jsou zbytky některých vyšších teras (Šolc, 1980).

Eolická činnost se v pleistocénu uplatňovala více odnosem volných částic než jejich akumulací. Podle Šolce (1980) se účinky periglaciálního mrazového klimatu z vrtných profilů zjistit nedají, ale zcela jistě se v této oblasti vyskytuje mrazové nakypření a zvíření svrchních poloh předkvartérních hornin. Povrch území byl dotvořen v holocénu, kdy ale vznikly jen náplavy potoků v údolích (Šolc, 1980).

5.3 GEOLOGICKÉ POMĚRY

Skalní podloží zájmového území, které regionálně patří do středočeského Barrandienu, je tvořeno ordovickými horninami. Sedimenty silurského a devonského stáří byly denudovány po variském vrásnění v průběhu hiátu v mladším paleozoiku a starším mezozoiku. Na vzniklé parovině došlo k ukládání dalších souvrství až ve svrchní křídě se zásahem mořské transgrese. Ještě ve svrchní křídě však započalo zarovnání povrchu, které pokračovalo v paleogénu a neogénu (Šolc, 1980).

Nejstarším ordovickým souvrstvím v zájmovém území je souvrství dobrotivské, které vznikalo na hranici středního a svrchního ordoviku. Ve svrchním ordoviku sedimentace pokračuje libeňským souvrstvím, na kterém je uloženo nejmocnější souvrství letenské. Hranice mezi letenským a nadložním vinickým souvrstvím je způsobena eustatickým zdvihem mořské hladiny (Chlupáč, Kukal, 1988), což má za následek převahu sedimentace břidlic. Sedimentace dále pokračuje souvrstvím zahořanským, na kterém je uloženo souvrství bohdalecké (Havlíček, 1967-1992).

Po stratigrafickém hiátu začala ve svrchní křídě sedimentace perucko-korycanského souvrství, jehož relikty se nachází i v zájmovém území (Valečka, 1999).

Éra	Perioda	Epocha	Stupeň	Souvrství		Mocnost [m]
mezozoikum	křída	svrchní	cenoman	perucko-korycanské		20 – 60
paleozoikum	ordovik	svrchní	beroun	bohdalecké		100 – 200
				zahořanské		100 – 400
				vinické		50 – 300
				letenské		60 – 800
			libeňské	libeňské břidlice	50 – 300	
		řevnické křemence				
		střední	dobrotiv	dobrotivské	dobrotivské břidlice	100 – 400
skalecké křemence						

Tabulka 1 Stratigrafie Barrandienu v ordoviku (Havlíček, 1967 – 1992) a křídě v zájmovém území (Herčík et al, 1999) s uvedenými obecnými mocnostmi jednotlivých souvrství podle uvedených autorů

5.3.1 Ordovické horniny

Ordovické horniny v zájmovém území vystupují na povrch hlavně v umělých odkryvech tedy v lomech, odřezech nebo v různých výkopech. Jinak jsou kryty buď předkvartérními cenomanskými horninami, kvartérními zvětralinami svrchnokřídové pánve, deluviálními a soliflukčními zeminami a fluviálními sedimenty v okolí vodních toků (Šolc, 1980).

Ordovik je tvořen pelitickými a psamitickými horninami. Na mapě Praha 2-3 převládá flyšový vývoj, kdy se střídají polohy břidlic s deskami a lavicemi pískovců, prachovců a drob. Horniny ordoviku jsou zvrásněné jak v regionálním měřítku, tak i v detailním. Prvnímu typu odpovídá uložení hornin v mohutném synklinoriu s osou ve směru zjz.-vsv. Zájmové území se nachází v jihovýchodním křídle synklinoria, z čehož vyplývá generelní směr vrstev hornin orientovaný ve směru zjz.-vsv. se sklonem k ssz. Druhý typ zvrásnění, tedy detailním značně mění jak směr vrstev, tak i jejich sklon. Provrásnění způsobuje i změnu mocnosti jednotlivých souvrství (Šolc, 1980).

Vrstvy ordovických hornin jsou porušeny nejen vrásněním, ale i tektonickými poruchami. Oba druhy porušení jsou výsledkem variské orogeneze v mladším paleozoiku. Jediná významná tektonická linie na listu Praha 2-3 patří mezi příčné poruchy. Nachází se v sv. rohu mapy, kam přechází ze sousedního mapového listu Praha 1-3. Ordovické horniny jsou porušeny celou řadou poruch různé velikosti, jejichž sklon je nejčastěji subvertikální (Šolc, 1980).

Zvětrávání ordovických hornin i jeho hloubka jsou nepravidelné. Pelitické břidlice zvětrávají snadněji a hlouběji než psamitické droby, pískovce a křemence. Stejně tak tektonicky porušené horniny zvětrávají snadněji do větších hloubek. Vliv na zvětrávání má i stáří povrchu území, čím starší povrch území, tím bývají horniny více a hlouběji zvětralé (Šolc, 1980).

Na mapovém listu není ordovik zastoupen úplným stratigrafickým sledem. Začíná až stupněm dobrotiv, tedy souvrstvím dobrotivským ve vývoji břidlic. Končí stupněm beroun, tedy souvrstvím bohdaleckým (Šolc, 1980).

Dobrotivské souvrství je tvořeno dobrotivskými břidlicemi a skaleckými křemenci, které se ale v zájmovém území nevyskytují. Břidlice jsou jílovité, tenké deskovitě vrstevnaté, obsahují kromě jílovitých minerálů i větší procento prachovité příměsi. Břidlice jsou tmavě šedé až černošedé, obvykle jemně slídnaté. Mohou obsahovat písčitojílovité konkrce. V jihovýchodním rohu mapy tvoří pruh přibližně 300 m široký. Jsou překryté zvětralinami hornin svrchní křídly a kvartérními uloženinami (Šolc, 1980).

Libeňské souvrství obsahuje převažující libeňské břidlice a méně dominantní řevnické křemence (Chlupáč, 1993). Břidlice jsou tmavě šedé, jílovité až prachovitojílovité, jemně slídnaté a velmi stejnorodé. Vyskytují se pod holocenními náplavy a v jižním svahu údolí Říčanského potoka v pruhu o šířce 170 – 280 m širokém. Zbytky libeňských břidlic tvoří vlivem provrásnění hornin ostrůvky v pruzích řevnických křemenců (Šolc, 1980). Řevnické křemence zaujímají spodní polohu souvrství a jsou světlešedé až slabě nažloutlé, deskovitě až lavicovitě odlučné, velikost zrna je pod hranicí 0,1 mm (Chlupáč et al, 1992).

Letenské souvrství je nejmocnější jednotkou barrandienského ordoviku. Souvrství je tvořeno prachovitopísčitými břidlicemi s vrstvami pískovců a drob. Vyskytují se v celé střední části mapy v pruhu 800 – 900 m širokém. Podle Šolce (1980) je širší pruhu ovlivněna zlomovou tektonikou. V zájmovém území tvoří letenské souvrství podloží svrchnokřídovým horninám i kvartérním pokryvům, většinou se však vyskytují do hloubky 2 m (Šolc, 1980). „Usazené skalní horniny deskovitě vrstevnaté představují šedé až tmavě šedé písčité a prachovité břidlice, hrubě slídnaté, které se střídají se světle šedými droby a pískovci. Mocnost desek je 3 – 5 cm, někdy i přes 10 cm. V jihozápadní části výskytu jsou vyvinuté jen jako drobové slídnaté břidlice, deskovitě vrstevnaté.“⁴

⁴ ŠOLC, Jiří. *Průvodní zpráva k podrobné inženýrskogeologické mapě 1:5000 list Praha 2-3*. Praha: Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, 1980, s. 23.

Vinické souvrství je tvořeno jílovitými až prachovitojílovitými, tmavě šedými, měkkými, hrubě slídnatými břidlicemi. Podle Kukala (1985) souvrství obsahuje i břidlice s příměsí písku, které tvoří až stometrovou mocnost. Někdy mají charakter až méně zpevněných jílovců. Jsou pokryty pouze málo mocnou vrstvou kvartérních uloženin. Nacházejí se v severní polovině mapového listu v pruhu rozšířeném tektonikou přibližně 300 – 800 m širokém (Šolc, 1980).

Zahořanské souvrství se v zájmovém území vyskytuje při severním okraji mapy v pruhu 200 – 400 m širokém. Skládá se z až deskovitých vrstev hnědošedých až šedých prachovců, jílovitých a písčitých prachovců a prachovitých břidlic. Zejména polohy jemnější jsou výrazně slídnaté.

Bohdalecké souvrství je převážně tvořeno černošedými slídnatými jílovitými břidlicemi až jílovcí. Pro nižší stupeň diagenetického zpevnění to jsou horniny poloskalní. Bohdalecké břidlice do zájmového území zasahují ze severu, kde jsou velmi rozšířené na sousedním listu Praha 2-2 (Šolc, 1980).

5.3.2 Svrchnokřídové horniny

Povrch území nebyl zcela rovný, jelikož prodělal intenzivní denudační proces před nástupem cenomanské transgrese. Stopy po předkřídovém zvětrávání najdeme ještě dnes na ordovických horninách. Nejspodnější křídové sedimenty proto nemají pravidelný průběh. Nejprve byly vyplněny prohlubně, teprve později s příchodem mořské transgrese se ukládaly sedimenty v celé ploše území (Šolc, 1980).

Původně mocné uloženiny byly většinou tvořeny hrubě zrnitými kaolinickými až slabě železitými pískovci, které často přecházely až do slepenců. Obsahovaly polohy prachovců až jílovců (Šolc, 1980).

Perucko-korycanské souvrství je jediným zástupcem křídových uloženin v zájmovém území. Svrchnokřídové horniny spočívají diskordantně na paleozoickém podloží. Jsou uloženy subhorizontálně s mírným sklonem k s-sv. Souvrství je tvořeno jen denudovanými pískovci sladkovodního nebo brakického cenomanu vyskytující se severozápadně od Dubče. Pískovce jsou světle hnědé, šedé až rezavé, převážně střednězrné až hrubozrné, často přecházejí až do drobnozrných slepenců. Jsou slabě zpevněné, snadno rozpadavé a obsahují polohy prachovců a jílovců. Ve slepencích jsou zastoupeny valouny křemene a křemence. Mocnost cenomanských pískovců v zájmovém území je 9 – 14 m. Svrchnokřídové horniny v jihozápadním rohu mapy

jsou zcela nezpevněné a Šolc (1980) je řadí mezi kvartérní deluvia, spíše se však jedná o eluvium.

5.3.3 Kvartérní uloženiny

Kvartérní uloženiny tvoří téměř souvislý pokryv skalního podkladu, vyskytují se na povrchu území a jsou výsledkem působení exogenních činitelů. Zvětráváním skalních hornin a svahovými pohyby v pleistocénu vznikly deluviální a soliflukční zeminy. Jejich složení závisí na matečných horninách. Soudržné jemnozrnné zeminy obsahují většinou příměs štěrku z hornin, jež nesnadno zvětrávají, zejména křemenců. Nesoudržné hrubozrnné zeminy obsahují valouny z rozpadlých slepenců. Dosahují mocnosti do 2 m, místy do 4 a jen ojediněle i více (Šolc, 1980).

Sedimenty fluviálního původu jsou zastoupeny terasovými písčitými uloženinami Říčanského potoka pleistocenního stáří. Největší mocnost dosahují v Dubči (8 m), nejméně při severní hranici listu (do 4 m). Fluviálního původu jsou také holocenní náplavy vyplňující dno údolí Říčanského potoka na jihu mapy a přítoku Rokytky v sz. rohu mapy (Šolc, 1980).

Sedimenty antropogenní mají původ v obdělávání půdy, těžbě nerostných surovin a akumulování různorodého materiálu. Mocnost navážek není větší než 4 m (Šolc, 1980).

Deluviální a soliflukční zeminy jsou nejvíce zastoupeným pokryvem v zájmovém území. Nejčastěji dosahují mocnosti 1 – 2 m. Mocnosti přes 2 m se vyskytují v údolích v sousedství holocenních náplavů, v jižním okolí výskytu svrchnokřídových hornin dosahují mocnosti 4 – 8 m. Tyto zeminy vznikly přemístěním eluvií, do kterých na své bázi přecházejí. Při svahových pohybech dochází k promísení materiálu, petrografické vlastnosti se často vertikálně mění. Složení deluviálních zemin odpovídá horninám skalního podkladu v okolí. Z ordovických hornin vznikly písčité až jílovité hlíny. Téměř vždy obsahují různé procento úlomků prachovců, pískovců, drob a křemenců. Vlastní břidlice jsou příliš měkké, aby se zachovaly ve štěrku. Na křemencích se tvoří obtížně rozpojitelné sutě, které postupně směrem k povrchu přecházejí do hlíny s úlomky křemenců. Pokryvy ze svrchnokřídových hornin se skládají z písku jemnozrnného až hrubozrnného většinou s příměsí hlinité i jílovité složky, které často přecházejí v písčité až jílovitopísčité hlíny. Obsahují valouny do velikosti 2 – 3 cm a úlomky pískovce do 5 cm (Šolc, 1980).

Terasové uloženiny se v zájmovém území vyskytují na třech místech v údolí Říčanského potoka, kde sedimenty byly uloženy po obou stranách. První výskyt je při

severním okraji mapového listu, druhý výskyt se nachází při východní hranici potoka na levém břehu s mocností nánosů okolo 6 m a třetí výskyt byl zjištěn v Dubči na pravém břehu potoka s mocností až 8 m. Terasa při severním okraji mapového listu je terasou vyšší, ostatní terasy náleží mezi údolní terasy, sousedí s holocenními náplavy potoka a podzemní voda souvisí s podzemní vodou v holocenních náplavech i s vodou v potoce. Terasové uložení vznikly akumulací činností vody v pleistocenních ledových dobách. Ve složení teras převládají slabě zahliněné střednězrnné až hrubozrnné písky s polohami písčitých hlín (Šolc, 1980).

Holocenní náplavy vyplňují údolí v jižní a severozápadní části zájmového území. Na jihu to jsou náplavy Říčanského potoka a v severozápadním okraji mapového listu to jsou náplavy přítoku Rokytky. Tyto náplavy leží v inundačním území. Šíře údolní nivy je u Říčanského potoka 50 – 190 m, u přítoku Rokytky 30 – 90 m. Mocnost holocenních náplavů Říčanského potoka je 6 – 8 m, u přítoku Rokytky to je 2 – 5 m. Holocenní náplavy se nejčastěji skládají z jílovitopísčitých hlín, méně z hlinitých jemnozrnných až středně zrnitých písků. Náplavy obsahují příměs štěrku, který je zastoupen hlavně opracovanými úlomky ordovických křemenců a břidlic, méně pak valouny křemene (Šolc, 1980).

Navážky se v zájmovém území vyskytují jen omezeně. Nejvíce rozšířené jsou v údolí Říčanského potoka pod hrází rybníka v Dubči s mocností okolo 4 m. Údolí je zavezené horninami z výkopů, písčitými a písčitojílovitými hlínami s úlomky břidlice a křemence. Podobným materiálem jsou pravděpodobně zavezeny i opuštěné lomy na křemenec v jižní části mapového listu i opuštěné pískovny severozápadně od Dubče (Šolc, 1980).

5.4 HYDROGEOLOGICKÉ POMĚRY

Zájmové území spadá do hydrogeologického rajonu č. 6250 Proterozoikum a paleozoikum v povodí přítoků Vltavy. Na základě horninového prostředí, jeho propustnosti, vydatnosti a chemického složení podzemní vody lze v zájmovém území rozlišit následující typy podzemních vod.

5.4.1 Podzemní voda v souvrstvích ordoviku

Ordovické horninové prostředí, ve kterém proudí podzemní voda, je zastoupené jílovitými, prachovitými a písčitými břidlicemi, prachovci, pískovci, drobami a křemenci. Podzemní voda nevytváří souvislý horizont, ale cirkuluje po puklinách a

porušených zónách. V neporušeném a nezvětralém stavu jsou ordovické horniny pro vodu velmi málo propustné. Platí to zejména o jílovitých břidlicích, které jsou poměrně měkké, plastické a ve větších hloubkách mají pukliny vodotěsně sevřené. Naopak hustě rozpukané lavice a desky křemenců a křemitých pískovců mají poměrně dobrou puklinovou propustnost. Nepříznivě působí jejich vzájemné oddělení proplástky jílovitých břidlic, které bývají nedostatečně diageneticky zpevněné charakteru až měkkého jílovce. Potom izolují rozpukané desky a zamezují živějšímu oběhu podzemní vody.

Svrchní zvětralé polohy ordovických hornin nad nezvětralým podložím jsou hustě rozpukané, úlomkovitě a kusovitě rozpadavé, tím je způsobena jejich poměrně vyšší propustnost oproti nezvětralým polohám. Zvětralina jílovitých břidlic má mezi drobnějšími úlomky výplň převážně jílovitou. Zvětralina prachovitých břidlic má výplň mezi většími úlomky hlinitou a hlinitopísčitou. V takovém prostředí dochází k omezenému oběhu podzemní vody se souvislou hladinou. Tento horizont podzemní vody sleduje navětralý povrch skalního podkladu a jeho spádové poměry obvykle souhlasí s morfologií. Tato zvodeň zpravidla přímo komunikuje se zvodní v pokryvných útvarech a přes ni je dotována srážkami. Tektonické zlomy a poruchová pásma tvoří hlavní cesty proudění podzemní vody. Hloubka výskytu hladiny podzemní vody v ordovických horninách je závislá na geologických a morfologických poměrech a velikosti infiltračního území.

V dobrotivském souvrství převažují podzemní vody s vysokou mineralizací (1000 – 1300 mg·l⁻¹) kalcium-síranové s vysokým obsahem SO₄²⁻ (600 – 700 mg·l⁻¹) a kyselými až zásaditými reakcemi (pH 5,8 – 7,5).

V souvrství libeňském se charakter podzemní vody liší podle facií. V řevnických křemencích jsou podzemní vody méně mineralizované (700 – 900 mg·l⁻¹) kyselé až neutrální reakce s nižším obsahem SO₄²⁻ (200 – 300 mg·l⁻¹). V libeňských břidlicích jsou podzemní vody velmi tvrdé s celkovou mineralizací 800 – 1400 mg·l⁻¹ převážně silně kyselé (pH 4,1 – 6,9). Obsah agresivního CO₂ je 12 – 50 mg·l⁻¹.

Souvrství letenské má podzemní vody kalcium-síranové, velmi tvrdé, slabě kyselé i slabě alkalické (pH 6,8 – 7,2) s nízkým obsahem agresivního CO₂ do 5 mg·l⁻¹ a celkovou mineralizací 1100 – 1500 mg·l⁻¹, avšak SO₄²⁻ v rozmezí 300 – 600 mg·l⁻¹.

Vinické souvrství má podzemní vody kalcium-síranové velmi silně mineralizované (2000 – 2500 mg·l⁻¹), kyselé (pH 6,0 – 6,9) a velmi tvrdé. Obsah SO₄²⁻ se pohybuje v rozmezí 300 – 800 mg·l⁻¹.

Souvrství zahořanské má podzemní vody kyselé až neutrální reakce (pH 6,1 – 7,0) s celkovou mineralizací 800 – 1000 mg·l⁻¹, nižším obsahem agresivního SO₄²⁻ od 250 až do 620 mg·l⁻¹ a agresivního CO₂ do 47 mg·l⁻¹.

Podzemní vody bohdaleckého souvrství patří k nejvíce mineralizovaným. Nejvyšších hodnot dosahují v blízkosti tektonického pásma. Tyto podzemní vody jsou vysoce mineralizované (až 4000 mg·l⁻¹) s obsahem SO₄²⁻ 2200 – 3800 mg·l⁻¹, neutrální až alkalická reakce většinou s nízkým obsahem agresivního CO₂ (Kovanda et al, 2001).

5.4.2 Podzemní voda ve svrchnokřídových horninách

Svrchnokřídová zvodeň je vázána na průlinovou a puklinovou propustnost slabě zpevněnými, snadno rozpadavými, hrubě zrnitými pískovci až slepenci s polohami prachovců. Z nesoudržných zemin je možno do tohoto prostředí zahrnout písky, případně štěrky eluvií svrchnokřídových hornin. Podzemní voda tvoří souvislou hladinu, jejíž hloubka závisí na hloubce izolátoru a na morfologii území. Ve svrchnokřídových pískovcích s průlinovou a puklinovou propustností a jejich eluviích s průlinovou propustností prosakuje voda k nepropustnému podloží, na kterém vytváří souvislý horizont. Nepropustným podložím mohou být polohy jílovců v peruckém souvrství nebo ordovické horniny.

5.4.3 Podzemní voda v kvartérních uloženinách

V kvartérních zeminách se nejvíce podzemní vody shromažďuje v holocenních náplavech a v pleistocenních terasových uloženinách potoků. Při vyšších srážkách může hladina podzemní vody z prostředí svrchnokřídového souvrství vystoupit i do křídových deluvií. Místy se může podzemní voda vyskytovat i v deluviálních uloženinách z ordovických hornin.

Terasové uloženiny potoků jsou tvořeny písky a písky se štěrkem s dobrou průlinovou propustností. Podzemní voda v takovém prostředí tvoří souvislý horizont s volnou hladinou. Terasy z hydrogeologického hlediska je možné rozdělit na vyšší, u nichž podzemní voda není v přímém kontaktu s vodou ve vodotečích a terasy údolní. V údolní terase je zpravidla uložena nebo leží na ní poloha holocenních náplavů a přes ně komunikuje podzemní voda s vodou ve vodoteči.

Holocenní náplavy potoků, tvořené písčitými hlínami a jílovitými písky s organickými vložkami jílu a při své bázi většinou štěrky, vytváří prostředí s průlinovou propustností. Podzemní voda mělko pod povrchem terénu tvoří souvislou

hladinu, která je v přímém kontaktu s hladinou ve vodních tocích. Při vyšších srážkách a tání sněhu často vystupuje v údolní nivě potoků až na povrch terénu.

6 AGRESIVITA PODZEMNÍ VODY

Zatímco v hydrogeologii je podzemní voda kladným faktorem, je vyhledávána pro účely jejího získání, a proto se zejména zabývá takovými zdroji, které jsou schopné poskytovat vodu v dostatečném množství a kvalitě. V inženýrské geologii může být naopak podzemní voda záporným faktorem ztěžujícím a prodražujícím provádění stavebních prací a to zejména pokud se jedná o vodu agresivní. Inženýrská geologie se proto zajímá i o malé množství vody v horninách, o hloubku jejího výskytu, směr jejího proudění, o možnosti odvodnění a o chemickou povahu vody, zejména o její agresivní složky (Šimek, 1966).

Pod pojmem koroze se rozumí porušení materiálu při vzájemném chemickém, fyzikálně chemickém nebo biologickém působení materiálu a prostředí. Korozi podléhají kovy i nekovové materiály. Korozi kovů způsobují převážně elektrochemické procesy, u nekovových stavebních materiálů jde převážně o procesy chemické. Agresivitou vody se obvykle rozumí chemické vlastnosti vody, které způsobují rozrušování stavebnin tím, že rozpouští uhličitán vápenatý, a rozrušování kovových materiálů. Tak definuje agresivitu ČSN ISO 6107-2 Jakost vod – Slovník – Část 2.

6.1 HISTORIE

Aplikovanou hydrogeologií města Prahy pro účely inženýrské geologie se poprvé podrobně zabýval Quido Záruba ve své práci Geologický podklad a základové poměry Prahy v roce 1948. Agresivitou podzemní vody v Praze se zabýval RNDr. Rudolf Šimek, CSc. ve své kandidátské práci Vliv podzemní vody v Praze na inženýrskogeologické podmínky výstavby města v roce 1966. Hydrogeologií a agresivitou podzemní vody se v zájmovém území v rámci souhrnného mapování zabýval i autor podrobné inženýrskogeologické mapy list Praha 2-3 v měřítku 1:5000 Jiří Šolc v roce 1980. Agresivitou na území města Prahy se zabývala také E. Kaprasová v knize Neživá příroda Prahy a jejího okolí v roce 2001 sepsanou Jiřím Kovandou et al.

6.2 ZDROJE AGRESIVITY PODZEMNÍ VODY NA BETON

Vzhledem k zástavbě v městské části Dubeč a plánované stavbě silnice I/12 a 511 včetně mimoúrovňové křižovatky, jejíž část se nachází v zájmovém území, je velice důležité ověřit vlastnosti podzemní vody, její agresivitu a působení na betonové a ocelové konstrukce. V ordovických horninách se nejvýrazněji projevují agresivity

síranová, uhličitá a kyselost vody (Šimek, 1966). Podle vybraných rozborů vzorků podzemní vody z objektů J8, J12, J14, J16, J17, J21, J22, J24, S13, S21 S24 a S32 je tomu tak i v zájmovém území. Podle Merkela a Planer-Friedricha (2008) vody s uhličitou agresivitou způsobují korozi materiálů jako je beton, kov a plast. Významný vliv na chemismus podzemní vody a její agresivitu může mít i prostředí antropogenních navážek (popel, škvára, stavební odpad). Leung et al. (2005) píše, že v zastavěném území může docházet k únikům upravené neagresivní pitné vody, která při styku s antropogenními navážkami může být druhotně kontaminována agresivně působícími složkami. K únikům agresivních odpadních vod dochází zejména v průmyslových oblastech. Zharkova (2012) uvádí i chloridovou agresivitu, která může být výhradně antropogenního původu a její podoba závisí na konkrétních podmínkách.

Podle Pittera (2015) je koroze betonu výhradně chemický proces. V maltě je pojivem CaCO_3 a agresivita je způsobena jeho rozpouštěním. Při hodnocení agresivity lze vycházet z vápenato-uhličitanové rovnováhy, která zde poměrně dobře vystihuje chování vody vůči maltovinám. U betonu je situace složitější, protože voda má vliv na několik komponent betonu a to na Ca(OH)_2 , CaCO_3 a některé další složky a jen z řešení vápenato-uhličitanové rovnováhy nelze vycházet. Odolnost betonu proti agresivním vodám se řídí vlastnostmi cementu použitého k jeho výrobě. Proto je třeba znát chemické složení cementu a procesy probíhající při jeho tunutí a tvrdnutí.

Cement se vyrábí pálením vápence a jílu a rozemletím získaných slínek. Po smíšení s vodou směs tuhne bez přítomnosti CO_2 a také pod vodou. Z chemického hlediska jsou cementy směsí různých křemičitanů a hlinitanů vápenatých. Cementy se rozdělují na portlandské, směsné s portlandskou bází, hlinitanové a zvláštní. Mezi zvláštní cementy patří různé síranovzdorné cementy, které obsahují jen omezené množství hlinitanu trivápenatého ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), jenž patrně podléhá síranové agresivitě (Pitter, 2015).

Tunutí a tvrdnutí betonové směsi probíhá z chemického hlediska jako hydratace. Tvoří se hydratované molekuly křemičitanů vápenato-hlinitých, ty poté odštěpují CaO , který reaguje s vodou za vzniku hydroxidu vápenatého (portlanditu), který může po delší době tvořit až 15 % směsi. Stálost hlinitanů a křemičitanů je dána jejich rovnováhou s Ca(OH)_2 . Proto agresivní působení různých složek vody na beton je způsobeno především reakcí s hydroxidem vápenatým (Pitter, 2015). Pitter zmiňuje, kromě dále uvedených typů agresivit i vody málo mineralizované a ostatní vody obsahující sulfan a jeho iontové formy nebo vody silněji alkalické.

6.2.1 Síranová agresivita

Z agresivně působících sloučenin je v zájmovém území nejrozšířenější radikál SO_4 . Jeho uvolňování do podzemní vody je způsobeno zpomaleným oběhem podzemní vody v ordovických, zvětralých, rozpukaných, pevných, převážně jílovitých břidlicích. Dlouhá doba styku s tímto prostředím má za následek zvyšování mineralizace podzemní vody. „Dochází k ní zejména při rozkladu pyritu (FeS_2) v břidlicích a při rozpouštění sekundárních produktů tohoto rozkladu sádrovce ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) a epsomitu ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$).“⁵ Dochází tak ke vzniku síranu vápenatého (CaSO_4) nebo i síranu hořečnatého (MgSO_4), který se během reakce uvolní do vody a vznikají tak vody obohacené o agresivní sírany. Sírany ve formě sádrovce se v ordovických břidlicích vyskytují na vrstevních plochách a puklinách jako povlaky a krystaly.



Obrázek 2 Ilustrační fotografie sádrovce

Podle Krásného et al. (2012) kyselé srážkové vody reagují s karbonátovými minerály v půdě a horninovém prostředí a zvyšují tak tvrdost vody. Při nedostatku karbonátových minerálů je možnost neutralizace vodíkových iontů omezena na reakci s aluminosilikáty. Výsledkem jsou silně kyselé síranové podzemní vody.

Pitter (2015) za hlavní příčinu destrukce betonu síranovými vodami považuje reakci síranů se slídkovým minerálem hlinitanem trivápenatým ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$), který se hydratuje na komplexní sloučeninu ($\text{Ca}_3[\text{Al}(\text{OH})_6]_2$) a vzniká silně hydratovaná

⁵ ŠIMEK, Rudolf. *Vliv podzemní vody v Praze na inženýrsko-geologické podmínky výstavby města*. Praha: Geologický ústav ČSAV, 1966, s. 18.

sloučenina ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot3\text{CaSO}_4\cdot30\text{H}_2\text{O}$) nazývaná ettringit nebo také Candlotova sůl. Tato sloučenina krystaluje v jehlicích uspořádaných obvykle do hvězdicových útvarů. Při krystalizaci nabývá značně na objemu a vlivem velkého krystalizačního tlaku se beton trhá. Odolnost betonu závisí na přítomnosti hlinitanu trivápenatého. Omezením jeho obsahu v cementu lze získat betony odolávající agresivitě síranových vod, tzv. síranovzdorné cementy. Odolné jsou betony obsahující méně než 4 % hlinitanu trivápenatého. Pokud se pro výrobu betonu použije síranovzdorný cement, pak lze ve vodě někdy tolerovat i koncentrace vyšší než $1000\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Síranová koroze je ovlivněna koncentrací chloridů (Pitter, 2015).

6.2.2 Uhličitá agresivita

Šimek (1966) uvádí jako možné zdroje agresivity volného CO_2 v podzemních vodách infiltraci srážkové vody, rozklad organických látek, činnost organismů a chemické pochody. Podle Alekina (1953) infiltrace srážkové vody nepřichází v úvahu, protože pražské podzemní vody obsahují podstatně větší množství CO_2 než odpovídá rovnováze s atmosférou. Pak se tedy volné CO_2 do podzemní vody v zájmovém území dostává činností organismů, rozkladem organických látek a chemickými pochody, zejména během probíhajících reakcí při zvětrávání pyritu (Šimek, 1966).

„Při oxidaci pyritu vzniká kyselina sírová, která rozkládá soli slabších kyselin, převážně uhličitany a uvolňuje CO_2 . Probíhá-li tato reakce ve vodním prostředí a obsahuje-li voda ionty HCO_3^- , kyselina sírová je rozkládá. Dochází tak k tomu, že se oboustranně mění poměr mezi vázaným CO_2 a tím se výrazně zvyšuje CO_2 agresivní“⁶

Pitter (2015) popisuje vody obsahující agresivní oxid uhličitý jako často se vyskytující a velmi nebezpečné. Oxid uhličitý reaguje s hydroxidem vápenatým ($\text{Ca}(\text{OH})_2$), který se uvolňuje při tuhnutí betonové směsi. Do roztoku přecházejí ionty Ca^{2+} a HCO_3^- . Zreagovaný hydroxid vápenatý je nahrazován dalším, vznikajícím hydrolytickým rozkladem křemičitanů a hlinitanů vápenatých. Výsledkem je neustálé rozrušování betonu, které může být zvlášť nebezpečné, jestliže voda kolem betonu proudí. Ve velmi propustné půdě by voda proudící kolem betonového zdiva neměla obsahovat pokud možno žádný agresivní CO_2 , je-li hodnota $\text{KNK}_{4,5}$ menší než $2,0\text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. U málo odolného betonu se obvykle tolerují koncentrace agresivního oxidu uhličitého asi od 5 do $10\text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$.

⁶ ŠIMEK, Rudolf. *Vliv podzemní vody v Praze na inženýrsko-geologické podmínky výstavby města*. Praha: Geologický ústav ČSAV, 1966, s. 25.

6.2.3 Kyselost vody

pH je definováno jako záporný dekadický logaritmus aktivity resp. koncentrace vodíkových iontů $pH = -\log(a_{H^+})$.

Podle Šimka (1966) je hodnota pH v přirozených vodách ve většině případů určena stavem uhličitánové rovnováhy, tj. poměr vázaného a volného CO_2 , který vzniká při oxidaci pyritu. V extrémních případech, když hodnota pH klesne pod 4,3 je určena i obsahem H_2SO_4 (Šimek, 1966).

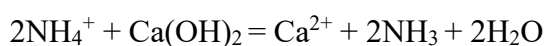
Do skupiny kyselých vod patří vody obsahující volné minerální nebo organické kyseliny. Jejich působení spočívá zejména v reakci iontů H^+ s hydroxidem vápenatým ($Ca(OH)_2$) uvolněným při hydrataci cementu a s hydratovanými slínkovými minerály. V případě málo odolného betonu by hodnota pH vody neměla klesnout pod 6,5 (Pitter, 2015).

6.2.4 Hořčíková agresivita

Hořčík může reagovat s hydroxidem vápenatým uvolňujícím se při tuhnutí betonu za vzniku rozpustného $Mg(OH)_2$. Současně může docházet k výměně iontů Ca^{2+} v křemičitanech a hlinitanech vápenatých za ionty Mg^{2+} . Tyto reakce vedou k nežádoucímu vyluhování vápníku z betonu. Jelikož ionty Mg^{2+} jsou menší než ionty Ca^{2+} , ztrácí beton pevnost. Mezní hodnoty hořčíku se pohybují v širokém rozmezí. V podstatě se za neagresivní považují vody s koncentrací Mg^{2+} pod $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Jednoznačně agresivně však působí teprve mnohem vyšší koncentrace hořčíku, asi nad $500 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, které se však ve vodách obvykle nevyskytují (Pitter, 2015).

6.2.5 Agresivita amoniakálního dusíku

Agresivně na beton mohou působit i vody s vyšší koncentrací amoniakálního dusíku. Ionty NH_4^+ reagují s $Ca(OH)_2$ podle rovnice:



Dochází k rozkladu hydroxidu vápenatého ($Ca(OH)_2$), a tím k dalšímu hydrolytickému rozkladu složek betonu. Údaje o mezních hodnotách amoniakálního dusíku se v literatuře značně liší. Mezní hodnota NH_4^+ pro málo odolné betony se v různých podkladech pohybuje asi od $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ až do $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ (Pitter, 2015).

6.2.6 Výskyt pyritu

Pochody při zvětrávání pyritu jsou tedy hlavním zdrojem agresivity pražských podzemních vod, jelikož se podílí na navyšování obsahu agresivních složek ve vodě, ať jde o obsah síranů samých, pH a i o agresivní CO_2 (Šimek, 1966).

Podle Šantrůčka (1952) se pyrit vyskytuje v ordovických břidlicích převážně jako drobná zrnka o velikosti 0,01 – 0,1 mm, maximálně až 0,17 mm a tvoří buď shluky a nepravidelné šmouhy nebo je rozptýlen po celé hornině. Šimek (1966) píše, že podle stupně zvětrání horniny je pyrit nahrazen z větší části nebo menší části limonitem ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot x\text{H}_2\text{O}$).

6.3 OPATŘENÍ PROTI AGRESIVITĚ VODY NA BETON

Agresivita podzemní vody je důležitým faktorem ve stavebnictví a je nutné ji vyhodnocovat pomocí chemických rozborů. K předejití zbytečným škodám a následným nákladům vynaloženým na opravy a rekonstrukce poškozených částí stavby je podrobné sledování agresivity podzemní vody klíčové. Agresivitě vody nejvíce podléhají betonové a železné, příp. železobetonové konstrukce a je nutné je proto při zjištění výskytu agresivity podzemní vody chránit. Takovou ochranu specifikuje ČSN EN 206 (tabulka 2).

Složení a vlastnosti betonu	Chemická agresivita prostředí			
	Žádná	Nízká	Střední	Vysoká
	XA0	XA1	XA2	XA3
Maximální vodní součinitel w/c		0,55	0,50	0,45
Minimální pevnostní třída		C30/37	C30/37	C35/45
Minimální obsah cementu		300	320	360
Jiné požadavky			Síranovzdorný cement	
Opatření proti agresivitě		Primární	Sekundární	Speciální projekt

Tabulka 2 Opatření proti agresivitě podzemní vody (ČSN EN 206, červenec 2014)

Pro neagresivní prostředí není potřeba zvláštních úprav stavebních materiálů a konstrukcí.

Opatřením proti nízkému stupni agresivity je ochrana primární, která spočívá ve volbě vhodných stavebních hmot, tedy ve složení betonové směsi, druhu výztuže, druhu betonu, jeho třídy a technologii výroby. Dalším důležitým prvkem je volba geometrického tvaru konstrukcí a odolnost konstrukčních dílů proti vzniku trhlin, čehož u betonu může být dosaženo použitím technologie krystalizace XYPEX.

Pro střední agresivitu prostředí se používá kombinace primární (viz výše) a sekundární ochrany, která spočívá v použití hmot vhodných pro ochrannou úpravu povrchu, pro impregnaci betonu, pro ochranu betonu (nátěry, fólie, obklady, obezdívky) a také hmoty pro ochranu výztuže (kovy, nátěry, fólie). Nátěrové hmoty, fóliové a kovové ochranné prvky musí vytvářet chemicky odolnou nepropustnou vrstvu s dostatečnou přilnavostí k chráněnému povrchu.

Pro vysoce agresivní prostředí je třeba použít jak primární, tak i sekundární opatření proti agresivitě podzemní vody za použití hmot podle speciálního projektu. Zejména je nutné podzemní vodu odvést od stavebních objektů, tak aby se agresivní voda nedostala ke stavebním konstrukcím a to snižováním hladiny podzemní vody, například pomocí drenáží.

6.4 ZDROJE AGRESIVITY PODZEMNÍ VODY NA KOVY

Koroze oceli a litiny je podmíněna celkovým složením vody, přítomností kyslíku a oxidu uhličitého. Koroze může být buď rovnoměrná (plošná) způsobená kyselým prostředím nebo bodová (důlková) způsobená rozpuštěným kyslíkem. Tyto typy koroze jsou vyvolány elektrochemickými procesy. Koroze kovových materiálů je poměrně složitý proces, komplex elektrochemických a chemických procesů probíhajících na anodě a katodě. Chloridy a sírany napomáhají rychlosti koroze. Negativní vliv chloridů a síranů se zmenšuje s rostoucí koncentrací hydrogenuhličitánů. Značný vliv na korozi potrubí má teplota vody. Se vzrůstající teplotou se značně zvyšují korozní rychlosti (Pitter, 2015).

6.5 OPATŘENÍ PROTI AGRESIVITĚ VODY NA KOVOVÉ KONSTRUKCE

V rámci inženýrskogeologického průzkumu je prováděno měření bludných proudů, které obvykle působí v blízkosti stejnosměrných elektrických zařízení, jako je trolejové vedení pro tramvaje, trolejbusy a vlaky a napájecí koleje pro metro. Hlavními opatřeními, kterými se dosahuje potřebné ochrany před korozí kovových materiálů, jsou volba vhodného materiálu, vhodné konstrukční řešení, optimální technologie výroby, úprava prostředí, elektrochemická ochrana a povrchové úpravy.

I takovou ochranu specifikuje norma ČSN EN 50162 Ochrana před korozí bludnými proudy ze stejnosměrných proudových soustav z dubna 2005. „Bludné proudy, pocházející ze stejnosměrných proudových soustav, mohou na kovových konstrukcích uložených v půdě nebo ve vodě, způsobit vážné poškození materiálu korozí. Touto

korozí mohou být ohroženy zejména liniové konstrukce dlouhodobě uložené v zemi, například potrubí a kabely s kovovým pláštěm. Jelikož se poškození korozí může projevit již po krátké době působení bludného proudu, je důležité přijmout opatření k ochraně v raném stádiu a také účinek těchto opatření pravidelně kontrolovat.“⁷

Jednou z používaných metod pro ochranu kovových zařízení je katodická ochrana spadající do ochrany elektrochemické. Podle normy ČSN EN 12954 Katodická ochrana kovových zařízení uložených v půdě nebo ve vodě – Všeobecné zásady a aplikace na potrubí platí „Rychlost koroze kovu v půdě nebo ve vodě je funkcí potenciálu E materiálu v okolním prostředí. Obecně platí, že při posunu potenciálu k zápornějším hodnotám rychlost koroze klesá. Tohoto posunu potenciálu k zápornějším hodnotám se dosáhne průchodem stejnosměrného proudu od anod přes půdu nebo vodu ke kovovému povrchu chráněného zařízení. U zařízení opatřeného izolací prochází proud ke kovovému povrchu především průchozími póry a místy bez izolace. Ochranný proud lze zajistit pomocí vloženého proudu nebo obětovaných anod.“⁸

⁷ ČSN EN 50162. *Ochrana před korozí bludnými proudy ze stejnosměrných proudových soustav*. Praha: Český normalizační institut, 2005, s. 9

⁸ ČSN EN 12954. *Katodická ochrana kovových zařízení uložených v půdě nebo ve vodě – Všeobecné zásady a aplikace na potrubí*. Praha: Český normalizační institut, 2001, s. 12

7 METODIKA

Cílem této práce je posouzení, do jaké míry se horninové prostředí v zájmovém území podílí na chemickém složení podzemní vody.

Při psaní diplomové práce jsem prostudoval a posléze citoval odbornou literaturu, kterou jsem si opatřil v archivu Geofondu České geologické služby nebo jsem si ji zapůjčil v geologické knihovně Přírodovědecké fakulty UK. Používal jsem odborné knihy týkající se tématu práce, podrobnou inženýrskogeologickou mapu zájmového území, průvodní zprávu k podrobné inženýrskogeologické mapě a odborné články.

Chemické analýzy a mapové podklady jsem získal v archivu firmy PUDIS a.s., kde jsem měl k dispozici podrobnou inženýrskogeologickou mapu Prahy 1:5000 list Praha 2-3. V mapě dokumentačních bodů v listu Praha 2-3 jsem našel všechny vrty a studny, ve kterých byl proveden chemický rozbor vzorku podzemní vody, bylo jich 56 a pro přehlednost jsem je znovu označil, vrty písmenem J, studny písmenem S a přiřadil jsem jim příslušné číslo, tak aby šly postupně dle jednotlivých souvrství. Další 3 analýzy z vrtů, nově označených jako J14, J15 a J22, jsem získal v Geofondu České geologické služby z předběžného geotechnického průzkumu silnice I/12 úsek křiž. H1 – Úvaly, okr. Praha - východ z roku 2004. Kompletní chemické analýzy z vrtů i studní uvedené v přehledných tabulkách jsou v této práci přílohou č. 1 a 2. Popisy jednotlivých vrtů jsem pomocí softwaru AutoCAD 2017 převedl na jednotný formát a jsou v této práci zahrnuty v příloze č. 4.

Při rekognoskaci zájmového území jsem odebral po jednom vzorku podzemní vody z dobrotivského, libeňského, vinického a zahořanského souvrství a to ze studní, ze kterých jsem již získal archivní chemický rozbor. Tyto vzorky jsem odvezl do akreditované laboratoře v Kutné Hoře na chemickou analýzu, jejíž výsledky jsou přiloženy v příloze č. 3.

Zájmovým územím jsem proložil řez, který je přílohou č. 6, tak aby protínal místa významná pro agresivitu podzemní vody. Začátek řezu jsem zvolil na jižním okraji mapy východně od Dubče, tento bod jsem označil písmenem A. Z tohoto místa řez prochází přes dobrotivské, libeňské, letenské a vinické souvrství do jeho prvního lomu směrem na sever k vrtu J15. Od lomu pokračuje přes vinické souvrství západojihozápadním směrem k vrtu J17, odkud směřuje severozápadním směrem přes zahořanské souvrství do severozápadního rohu mapového listu, kde je konec řezu

označen bodem A'. Situace vrtů a studní s linií geologického řezu AA' v geologické mapě odkryté list Praha 2-3 je zobrazena v příloze č. 5.

Geologický řez AA' vedený přes vybrané vrty jsem sestrojil z map geologických poměrů a z popisů jednotlivých vrtů. Situaci v měřítku 1:10000 a řez v měřítku 1:2500/125, tedy dvacetkrát převýšený, jsem narýsoval v programu AutoCAD 2017. Použité převýšení v geologickém řezu bylo použito pro dobrou přehlednost a čitelnost vrtů, ale způsobilo hrubé zkreslení styku jednotlivých souvrství v hloubkách, kam nedosahují použité vrty. Pro umístění vrtů a studní do situace i do řezu jsem využil souřadného systému S-JTSK ve výškovém systému Balt po vyrovnání (tabulka 3 a 4).

Z chemických rozborů vzorků podzemní vody z jednotlivých sond jsem se zajímal o agresivně působící složky především na beton, ale i na železo, tedy o obsah síranů, agresivního oxidu uhličitého, pH vody, obsah amonných kationů a kationtů hořčíku, ale i obsah siřičitanů a chloridových iontů a vodivost vody.

Pro vyhodnocení chemických rozborů získaných pro tuto diplomovou práci je použito normy ČSN EN 206 a jejích mezních hodnot pro jednotlivé agresivní složky podzemní vody. Evropská norma EN 206 byla převzata v plném znění jako norma ČSN EN 206. Pro zaznamenání celého spektra možností přítomnosti agresivně působících složek v podzemní vodě je do tabulky 5 přidána i kategorie bez agresivity a to kategorie žádná XA0. Jednotlivé mezní hodnoty kategorií chemické agresivity prostředí jsou uvedeny v tabulce 5. Dle normy ČSN EN 206 je agresivní chemické působení založeno na působení podzemní vody za teplot v rozmezí 5 až 25 °C a pro velmi mírnou rychlost vody blíží se nehybnému stavu. Pro stanovení agresivity je určující nejvyšší hodnota jednotlivých chemických charakteristik. Pokud jsou dvě nebo více chemických charakteristik stejného stupně, pak v případě, že zvláštní studie pro tento specifický případ neprokáže, že to není nutné, je potřeba použít nejbližší vyšší stupeň.

Pro vyhodnocení agresivity na ocel je využito platných norem ČSN 03 8372 Zásady ochrany proti korozi nelineových zařízení uložených v zemi nebo ve vodě a ČSN 03 8375 Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi. Chemickým rozbořem vod se zjišťuje přítomnost i množství složek podmiňující korozi v podzemních vodách. Pro železné kovy je důležité určit pH vody, obsah siřičitanů, chloridů a agresivního oxidu uhličitého. Agresivitu prostředí určuje nejvíce nepříznivá zjištěná hodnota s přihlédnutím k dalším korozním faktorům. Mezní hodnoty jsou uvedeny v tabulce 6.

Vrt - nové značení	x [m]	y [m]	z [m n. m.]
J1	-1047851,79	-730227,25	275,62
J2	-1047934,94	-730817,56	274,34
J3	-1047700,07	-730485,52	273,65
J4	-1047690,00	-730216,00	271,00
J5	-1047486,39	-730171,19	249,96
J6	-1047665,07	-731150,28	249,27
J7	-1047341,95	-730170,34	241,19
J8	-1046860,31	-730498,18	251,01
J9	-1046604,22	-730051,93	240,10
J10	-1047943,00	-731687,50	251,80
J11	-1047751,00	-731740,00	259,00
J12	-1046836,52	-731344,47	262,33
J13	-1046443,28	-730211,97	246,23
J14	-1046370,18	-730246,44	247,51
J15	-1046334,74	-730183,03	246,65
J16	-1046599,98	-731337,97	260,49
J17	-1046861,30	-731836,35	252,32
J18	-1046702,76	-732085,89	247,34
J19	-1046800,10	-732315,81	248,50
J20	-1046539,94	-732227,49	245,49
J21	-1046397,20	-730795,48	253,45
J22	-1046261,05	-730588,37	249,10
J23	-1046123,94	-730800,11	252,24
J24	-1046033,50	-732424,00	241,20
J25	-1047571,01	-732071,48	264,54
J26	-1047434,97	-731882,43	270,48
J27	-1047287,42	-731589,35	267,03

Tabulka 3 Souřadnice vrtů v souřadném systému S-JTSK a výškovém systému Balt po vyrovnaní

Studna - nové značení	x [m]	y [m]	z [m n. m.]
S1	-730657,38	-1047910,26	277,60
S2	-730652,39	-1047759,92	275,60
S3	-731283,92	-1047942,46	258,60
S4	-730637,94	-1047579,79	250,40
S5	-730483,96	-1047434,64	243,40
S6	-731857,75	-1047991,88	253,60
S7	-730865,88	-1047446,09	245,60
S8	-731144,90	-1047426,50	253,90
S9	-731373,10	-1047587,83	252,70
S10	-731536,30	-1047792,65	251,70
S11	-730862,57	-1047168,69	260,00
S12	-731155,38	-1047265,03	261,30
S13	-731274,49	-1047406,14	257,50
S14	-731459,24	-1047446,72	258,30
S15	-731549,37	-1047556,79	258,30
S16	-731892,93	-1047785,70	261,60
S17	-732044,64	-1047904,68	259,90
S18	-732215,48	-1047943,50	263,60
S19	-731417,29	-1047257,65	263,30
S20	-731857,38	-1047551,42	263,00
S21	-731560,01	-1047161,75	264,20
S22	-731993,65	-1047123,39	258,90
S23	-731954,33	-1046951,97	251,40
S24	-731657,20	-1046605,63	260,10
S25	-731838,60	-1046503,51	255,00
S26	-731991,62	-1046557,19	249,20
S27	-730196,35	-1046070,98	244,60
S28	-731991,46	-1046225,11	251,90
S29	-732245,07	-1046277,54	252,60
S30	-731878,90	-1046032,02	251,90
S31	-732146,43	-1047456,10	266,40
S32	-732053,88	-1047295,63	269,70

Tabulka 4 Souřadnice studní v souřadném systému S-JTSK a výškovém systému Balt po vyrovnání

Chemická charakteristika	Chemická agresivita prostředí			
	Žádná	Slabá	Střední	Vysoká
	XA0	XA1	XA2	XA3
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	≥ 0 a < 200	≥ 200 a ≤ 600	> 600 a ≤ 3000	> 3000 a ≤ 6000
pH	> 6,5	≤ 6,5 a ≥ 5,5	< 5,5 a ≥ 4,5	< 4,5 a ≥ 4,0
CO ₂ agresivní [mg·l ⁻¹]	≥ 0 a < 15	≥ 15 a ≤ 40	> 40 a ≤ 100	> 100 až do nasycení
NH ₄ ⁺ [mg·l ⁻¹]	≥ 0 a < 15	≥ 15 a ≤ 30	> 30 a ≤ 60	> 60 a ≤ 100
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	≥ 0 a < 300	≥ 300 a ≤ 1000	> 1000 a ≤ 3000	> 3000 až do nasycení

Tabulka 5 Mezní hodnoty pro stupně chemického působení podzemní vody na betonové konstrukce (ČSN EN 206, červenec 2014)

Chemická charakteristika	Agresivita vody na ocel			
	Velmi nízká	Střední	Zvýšená	Velmi vysoká
	I.	II.	III.	IV.
Vodivost vody [mS·m ⁻¹]	< 10	≥ 10 a < 20	≥ 20 a < 43	≥ 43
pH	< 8,5 a ≥ 6,5	≥ 8,5 a ≤ 14,0	< 6,5 a ≥ 6,0	< 6,0
SO ₃ ²⁻ + Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	< 100	≥ 100 a < 200	≥ 200 a < 300	> 300
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]	0	0	5	5

Tabulka 6 Mezní hodnoty pro stupně agresivity vody na ocel (ČSN 03 8372, listopad 1987 a ČSN 03 8375, duben 1978)

8 DISKUZE

Na zkoumaném souboru 59 chemických rozborů vzorků podzemní vody odebraných z 27 vrtů a 32 studní jsem se snažil ověřit, které horninové prostředí uvolňuje do podzemní vody agresivní látky. V následující tabulce 7 je uveden počet chemických rozborů v jednotlivých souvrstvích a jejich zařazení dle jednotlivých agresivně působících složek do jednotlivých kategorií chemické agresivity prostředí podle uvedené tabulky 5.

Souvrství		Dobrotivské	Libeňské (řevnické vrstvy)	Libeňské (libeňské vrstvy)	Letenské	Vínické	Zahořanské	Perucko- korycanské
Počet rozborů		5	2	6	21	12	8	5
SO ₄ ²⁻	XA0	1	1	2	1	1		1
	XA1	4	1	4	19	4	1	3
	XA2				1	7	6	1
	XA3						1	
pH	XA0	5	2	6	17	4	8	5
	XA1				3	2		
	XA2				1	4		
	XA3					2		
CO ₂	XA0	5	1	4	5	4	7	2
	XA1		1	2	12	1	1	3
	XA2				4	3		
	XA3					4		
NH ₄ ⁺	XA0	4	2	6	21	12	8	5
	XA1	1						
	XA2							
	XA3							
Mg ²⁺	XA0	5	2	6	21	12	6	5
	XA1						1	
	XA2						1	
	XA3							

Tabulka 7 Množství chemických rozborů a jednotlivých stupňů agresivit v jednotlivých souvrstvích

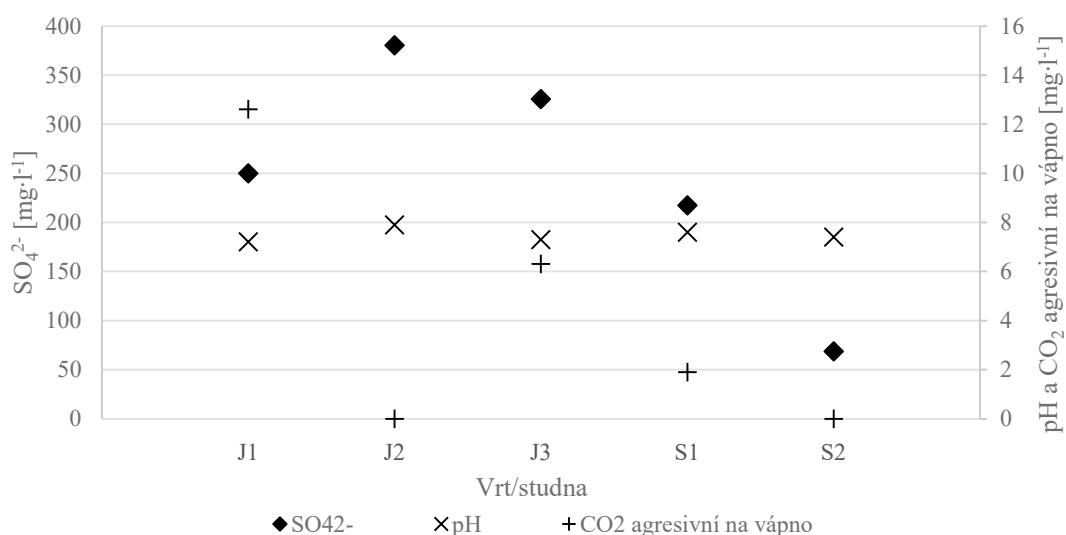
8.1 VYHODNOCENÍ AGRESIVITY NA BETON

Agresivita na beton byla vyhodnocena podle normy ČSN EN 206 Beton – Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda. Podle normy agresivní Mg²⁺ a NH₄⁺ byly dohromady zjištěny v dostatečné koncentraci pouze ve třech vzorcích, a proto se jimi tato práce nebude u dalších analýz zabývat.

V dobrotivských břidlicích **dobrotivského souvrství** bylo provedeno 5 chemických rozborů podzemní vody ze 3 vrtů a 2 studní. Podzemní voda ve vrtech J1, J2 a J3 se projevuje pouze zvýšenou koncentrací síranů, tyto vody tedy spadají do kategorie nízké agresivity prostředí XA1. Ve studni S1 byla zjištěna nízká agresivita SO_4^{2-} a zároveň i NH_4^+ , což tuto vodu řadí do kategorie střední agresivity XA2. Studna S2 obsahuje velmi nízké množství agresivně působících látek a náleží pak do XA0. Celkově to jsou vody kalcium-síranové s alkalickým pH (7,2 – 7,9), nižší koncentrací síranů (přibližně 300 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$) a celkovou mineralizací do 1150 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. V porovnání s Kovandou et al. (2001) i Šimkem (1966) vychází podzemní voda dobrotivských vrstev v zájmovém území méně agresivní.

Vrt/Studna	SO_4^{2-} [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	pH	CO_2 agr. na vápno [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	NH_4^+ [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	Mg^{2+} [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	ČSN EN 206
J1	249,8	7,2	12,6	0,0	23,4	XA1
J2	380,3	7,9	0,0	0,0	21,7	XA1
J3	325,5	7,3	6,3	0,0	28,6	XA1
S1	217,4	7,6	1,9	16,8	20,8	XA2
S2	68,5	7,4	0,0	0,2	8,7	XA0

Tabulka 8 Chemické rozborů agresivních složek v dobrotivském souvrství

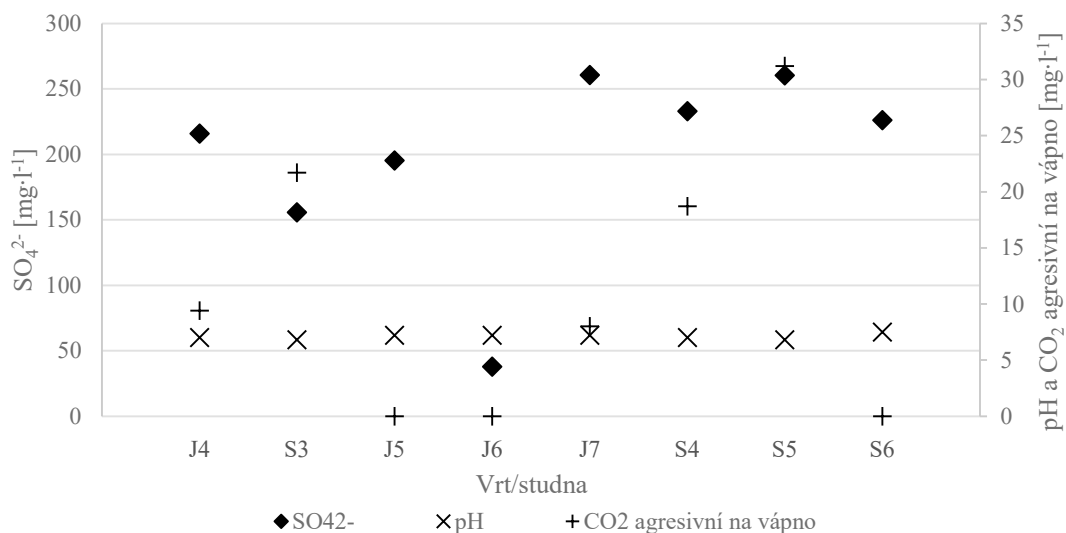


Graf 1 Znárodnění hlavních ukazatelů agresivity na beton v dobrotivském souvrství

V **libeňském souvrství** se nachází celkem 4 vrty a 4 studny. Vrt J4 a studna S3 zasáhly řevnické křemence, ostatní pak vrstvy libeňských břidlic. V Řevnických vrstvách se vrt J4 projevil nízkou agresivitou XA1 ve formě rozpuštěných síranů a studna S3 nízkou uhličitou agresivitou XA1. Libeňské břidlice byly nalezeny ve vrtech J5, J6 a J7 pouze ve formě zcela rozložené drtě. Odebrané vzorky vody tedy spíše charakterizují kvartérní pokryv, který se projevuje zcela neagresivně, až na zvýšenou koncentraci SO_4^{2-} ve vrtu J7, což odpovídá chemické agresivitě prostředí XA1. Neagresivnost tohoto prostředí může být způsobena rychlejším pohybem podzemní vody, která je v blízkosti Říčanského potoka stahována do vodoteče. Studny S4 a S5 se projevíly jak nízkou agresivitou síranů, tak i nízkou agresivitou CO_2 , což jejich podzemní vodu řadí do kategorie XA2. Voda studny S6 obsahuje pouze síranové ionty ve zvýšené koncentraci odpovídající agresivitě XA1. Podzemní voda řevnických křemenců i libeňských břidlic má velmi podobný charakter, pravděpodobně kvůli velmi úzkému pruhu v jakém se řevnické křemence vyskytují. Podzemní vody libeňského souvrství v zájmovém území jsou z větší části kalcium-síranové z menší části pak kalcium-hydrogenuhličitánové s pH v rozmezí 6,8 – 7,5, obsahem síranů okolo $250 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, obsahem agresivního CO_2 do $35 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ a celkovou mineralizací do $750 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Oproti Kovandovi et al. (2001) a Šimkovi (1966) vychází agresivita libeňského souvrství v zájmovém území výrazně nižší.

Vrt/Studna	Vrstvy	SO_4^{2-} [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	pH	CO_2 agr. na vápno [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	NH_4^+ [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	Mg^{2+} [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	ČSN EN 206
J4	Řevnické	215,8	7,0	9,4	0,3	34,7	XA1
S3	Řevnické	155,7	6,8	21,7	0,1	12,2	XA1
J5	Libeňské	195,3	7,2	0,0	0,0	28,6	XA0
J6	Libeňské	37,7	7,2	0,0	0,1	52,1	XA0
J7	Libeňské	260,5	7,2	8,0	0,0	36,5	XA1
S4	Libeňské	233,0	7,0	18,7	0,4	26,0	XA2
S5	Libeňské	260,4	6,8	31,2	0,4	36,5	XA2
S6	Libeňské	226,1	7,5	0,0	0,2	38,2	XA1

Tabulka 9 Chemické rozborů agresivních složek v libeňském souvrství



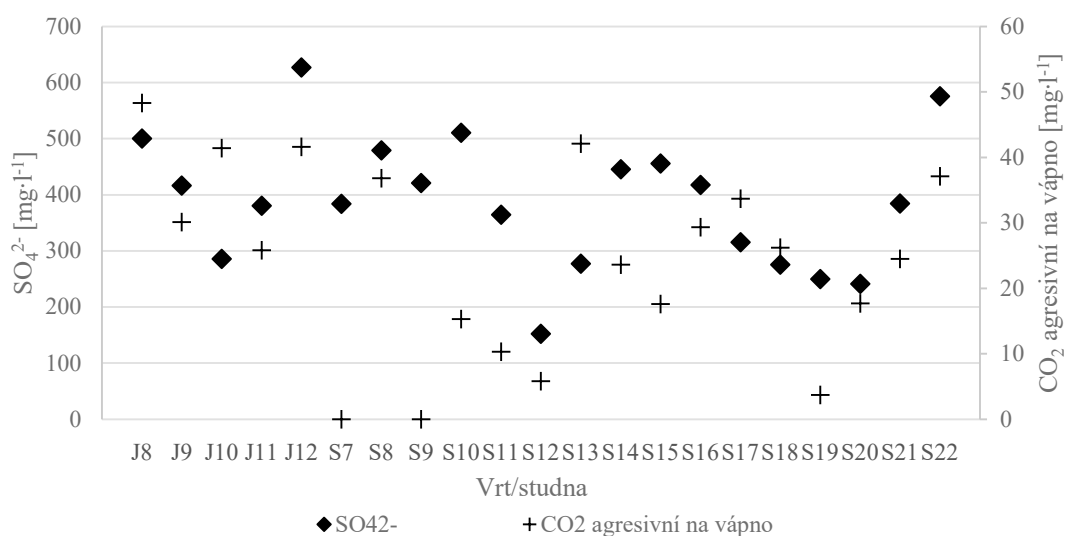
Graf 2 Znárodnění hlavních ukazatelů agresivity na beton v libeňském souvrství

V **letenském souvrství** byly analyzovány vzorky podzemní vody z 5 vrtů a 16 studní. Vrt J10 prošel pouze kvartérními uloženinami a letenské souvrství nezasáhl, nicméně chemický rozbor vykázal nízkou agresivitu pH a SO_4^{2-} a střední agresivitu CO_2 , což jej řadí do kategorie XA2. Stejnou agresivitu vykázal vrt J8. Vrty J9 a J11 se projevíly nízkou agresivitou síranových iontů a CO_2 , výsledná agresivita tedy je XA2. Ve vrtu J12 byla zjištěna střední agresivita pH, SO_4^{2-} i CO_2 , kvůli čemuž spadá až do vysoké agresivity prostředí XA3. Studny S7, S10, S18 a S22 měly ustálenou hladinu podzemní vody v době odběru v rozmezí 30 – 65 cm od terénu, proto jejich voda charakterizuje spíše kvartérní zvědeň. Z převážné většiny (S8, S10, S14, S15, S16, S17, S18, S20, S22) se studny v letenském souvrství projevíly nízkou agresivitou síranových iontů a CO_2 , což je řadí do kategorie XA2. Pouze ve studni S13 vystoupala koncentrace CO_2 nad dolní mezní hodnotu pro střední agresivitu, nicméně stále spadá do XA2. Studny S7, S9, S11 a S19 odpovídají kategorii XA1, kvůli nízké agresivitě SO_4^{2-} . Studna S12 neprojevíla žádnou agresivitu a studna S21 k síranové a uhličitě agresivitě vykázala i nízkou kyselost vody, což ji řadí do kategorie XA2. Podzemní voda letenského souvrství v zájmovém území je výhradně kalcium-síranová s pH 6,3 – 7,3 až na jeden výskyt hodnoty 4,6, obsahem SO_4^{2-} průměrně dosahuje $400 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ nejvíce však $627 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Hodnoty agresivního CO_2 nabývají až téměř $50 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ a celkové mineralizace až $1600 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ v průměru však okolo $1000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Uvedené hodnoty

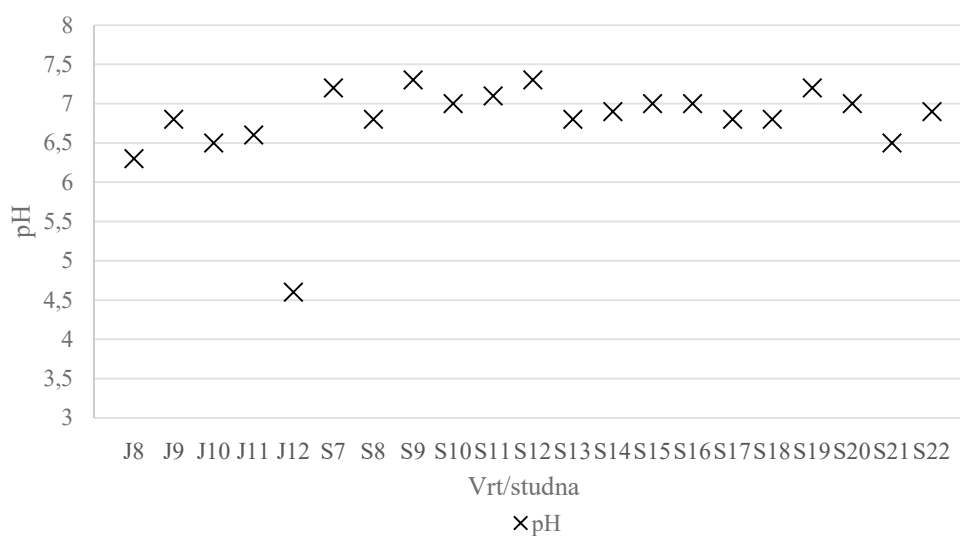
odpovídají Šimkově kandidátské práci (1966), ale nikoliv Kovandovi et al. (2001), kde je uveden obsah agresivního CO₂ jen do 5 mg·l⁻¹.

Vrt/Studna	SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	pH	CO ₂ agr. na vápno [mg·l ⁻¹]	NH ₄ ⁺ [mg·l ⁻¹]	Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	ČSN EN 206
J8	500,2	6,3	48,3	0,5	38,2	XA2
J9	416,1	6,8	30,1	0,3	36,5	XA2
J10	285,5	6,5	41,4	0,2	19,1	XA2
J11	380,3	6,6	25,8	0,5	33,0	XA2
J12	627,0	4,6	41,6	1,2	30,4	XA3
S7	383,7	7,2	0,0	1,7	46,9	XA1
S8	479,1	6,8	36,8	0,2	50,3	XA2
S9	421,1	7,3	0,0	4,2	46,0	XA1
S10	510,5	7,0	15,3	0,9	59,9	XA2
S11	364,3	7,1	10,3	0,6	26,0	XA1
S12	152,0	7,3	5,8	0,4	9,6	XA0
S13	277,2	6,8	42,1	0,1	22,6	XA2
S14	445,4	6,9	23,6	0,7	38,2	XA2
S15	455,7	7,0	17,6	0,3	33,9	XA2
S16	417,7	7,0	29,3	0,1	43,4	XA2
S17	315,2	6,8	33,7	0,2	34,7	XA2
S18	275,2	6,8	26,2	0,6	26,9	XA2
S19	249,5	7,2	3,7	0,4	17,4	XA1
S20	241,0	7,0	17,7	0,7	24,3	XA2
S21	384,5	6,5	24,5	1,3	22,6	XA2
S22	575,6	6,9	37,1	0,0	53,0	XA2

Tabulka 10 Chemické rozbory agresivních složek v letenském souvrství



Graf 3 Záznamy hlavních ukazatelů (SO₄²⁻, CO₂) agresivity na beton v letenském souvrství



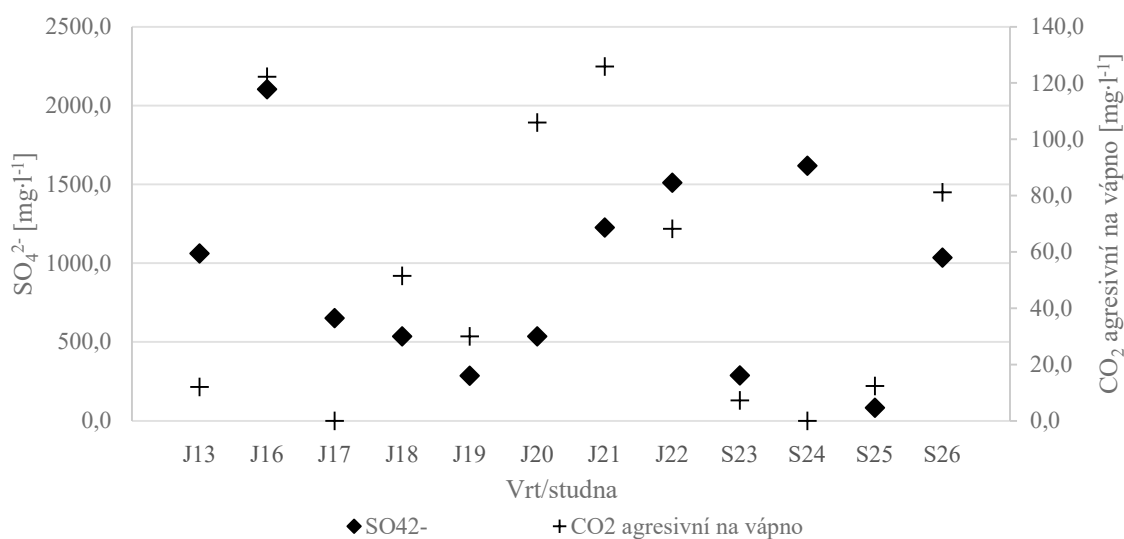
Graf 4 Záznamy hlavních ukazatelů (pH) agresivity na beton v letenském souvrství

Ve **vinickém souvrství** byly vzorky podzemní vody odebrány z 8 vrtů a 4 studní. Ve většině analýz vyšla nízká hodnota pH (4,8 – 5,6), což dobře umožnilo pozorovat chování uhličitánového systému, kde se snižující se hodnotou pH se zároveň snižuje i obsah HCO₃⁻ (2 – 24,4 mg·l⁻¹), ale naopak narůstá obsah volného oxidu uhličitého (30,8 – 176 mg·l⁻¹). Tomuto chování odpovídají vzorky vody z vrtů J16, J17, J18, J19, J21, J22 a ze studny S26, které spadají do nejvyššího stupně agresivity XA3 až na vrt J19, jenž je klasifikován do kategorie XA2. Této kategorii odpovídá i voda vrtu J13 a studny

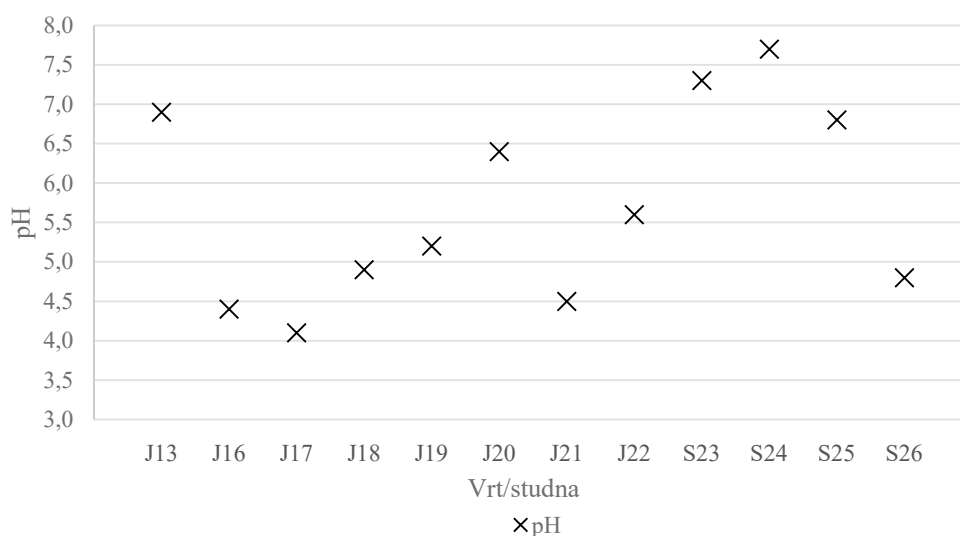
S24, kvůli střední agresivitě SO_4^{2-} . Studna S23 spadá do stupně agresivity XA1, opět kvůli síranovým iontům. Studna S25 neprojevila žádnou agresivitu. Vrt J20 s pH 6,4 si ještě zachoval část hydrogenuhličitanových iontů, ale značná část již zanikla ve prospěch volného oxidu uhličitého, který vykázal vysokou agresivitu na beton, což jej řadí do kategorie chemické agresivity XA3. Vinické souvrství obsahuje kalcium-síranové vody i s velmi nízkým pH (4,1 – 7,7), 7 z 11 vzorků podzemní vody vykázalo pH pod 5,6. Průměrná hodnota obsahu síranových iontů je $900 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, maximální však přes $2000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Agresivní CO_2 vystoupalo u 4 vzorků s velmi nízkým pH až nad $100 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, průměr se ustálil na $60 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Celková mineralizace dosáhla maximálně $3000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, v průměru však $1340 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. V porovnání se Šimkem (1966) i Kovandou et al. (2001) vychází podzemní voda vinického souvrství v zájmovém území výrazně více agresivní a to ve všech hlavních ukazatelích, tedy pH, SO_4^{2-} i agresivním CO_2 .

Vrt/Studna	SO_4^{2-} [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	pH	CO_2 agr. na vápno [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	NH_4^+ [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	Mg^{2+} [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	ČSN EN 206
J13	1062,1	6,9	12,0	0,4	102,4	XA2
J16	2103,5	4,4	122,2	1,3	211,8	XA3
J17	650,9	4,1	vzorek obsahuje soli silných kyselin, eventuelně volné silné kyseliny	3,2	55,6	XA3
J18	534,5	4,9	51,5	0,4	46,9	XA3
J19	286,1	5,2	30,0	0,8	38,2	XA2
J20	534,5	6,4	106,0	7,9	49,5	XA3
J21	1226,5	4,5	125,9	4,1	91,1	XA3
J22	1510,0	5,6	68,2	0,2	151,0	XA3
S23	287,8	7,3	7,2	0,1	18,2	XA1
S24	1617,1	7,7	0,0	1,3	163,2	XA2
S25	82,2	6,8	12,3	0,1	5,2	XA0
S26	1034,7	4,8	81,2	1,8	72,0	XA3

Tabulka 11 Chemické rozborů agresivních složek ve vinickém souvrství



Graf 5 Záznam hlavních ukazatelů (SO₄²⁻, CO₂) agresivity na beton ve vinickém souvrství



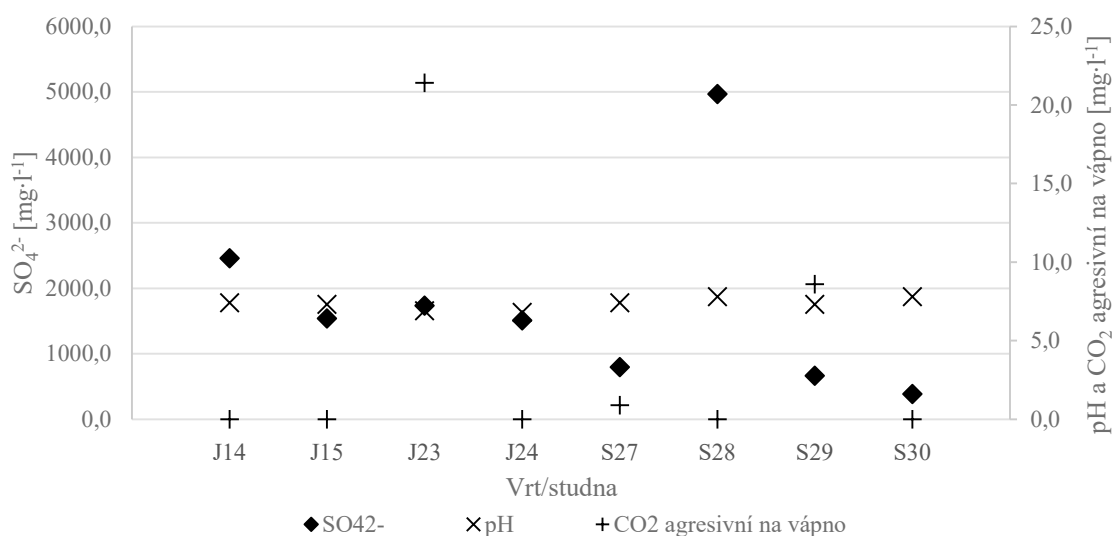
Graf 6 Záznam hlavních ukazatelů (pH) agresivity na beton ve vinickém souvrství

V **zahořanském souvrství** byly získány analýzy ze 4 vrtů a 4 studní. Vrtů J14 a J15 podle souřadnic S-JTSK v mapě geologických poměrů spadají do vinického souvrství, nicméně dle geologického popisu zastihly prachovce souvrství zahořanského, proto do něj byly zařazeny. Podrobná inženýrskogeologická mapa, z které byly geologické poměry převzaty, je tedy v tomto místě značně nepřesná. Tektonická linie, která je v mapě severovýchodně od těchto vrtů, tedy neodpovídá skutečnosti. Chemismem vody tyto dva vrtů opravdu patří do souvrství zahořanského.

Všechny vrty vykázaly střední agresivitu SO_4^{2-} , vrt J14 nízkou agresivitu hořečnatých iontů a vrt J23 nízkou agresivní CO_2 , což všechny vrty řadí do kategorie XA2. Vodu studní S27 a S29 charakterizuje z hlediska agresivity na beton pouze zvýšené koncentrace SO_4^{2-} odpovídající stupni XA2. Studna S30 kvůli zvýšenému obsahu síranových iontů spadá do XA1. Podzemní voda ve studni S28 byla s velkou pravděpodobností kontaminována, s obsahem SO_4^{2-} téměř $5000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ a Mg^{2+} $1000 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ se řadí do kategorie XA3. Podzemní vody zahořanského souvrství jsou kalcium-síranové, v některých případech i magnezium-síranové s neutrálním až alkalickým pH (6,8 – 7,8), průměrným obsahem síranových iontů $1300 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Hodnoty agresivního CO_2 se drží velmi nízko, jen v jednom případě dosáhly až na hodnotu $21,4 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Celková mineralizace bez započteného kontaminované vzorku ($7179 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$) vystoupala v průměru na $1850 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$. Uvedené hodnoty neodpovídají ani Šimkovi (1966) ani Kovandovi et al. (2001). Podzemní voda v zájmovém území není kyselá, ale spíše alkalická, hodnoty síranových iontů několikanásobně převyšují jimi uváděné a naopak hodnoty agresivního CO_2 jsou v zájmovém území výrazně nižší.

Vrt/Studna	SO_4^{2-} [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	pH	CO_2 agr. na vápno [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	NH_4^+ [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	Mg^{2+} [$\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$]	ČSN EN 206
J14	2460,0	7,4	0,0	0,1	344,0	XA2
J15	1540,0	7,3	0,0	0,2	294,0	XA2
J23	1733,6	6,9	21,4	0,4	184,9	XA2
J24	1507,4	6,8	0,0	0,2	191,0	XA2
S27	794,8	7,4	0,9	0,3	72,9	XA2
S28	4967,7	7,8	0,0	0,0	1006,9	XA3
S29	664,6	7,3	8,6	0,2	59,0	XA2
S30	387,1	7,8	0,0	0,0	59,9	XA1

Tabulka 12 Chemické rozborů agresivních složek v zahořanském souvrství

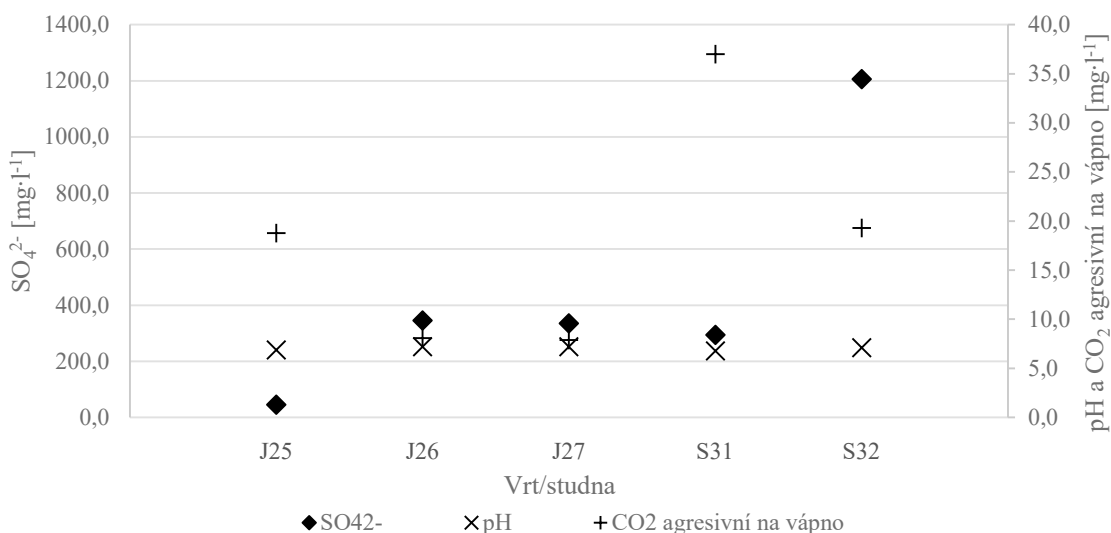


Graf 7 Znárodnění hlavních ukazatelů agresivity na beton v zahořanském souvrství

V **perucko-korycanském souvrství** byly provedeny 3 chemické analýzy vzorku vody z vrtů a 2 ze studní. Voda z vrtu J25 obsahuje pouze lehce zvýšené koncentrace CO₂, naopak z vrtů J26 a J27 jen mírný nárůst hodnot SO₄²⁻, což všechny vrty řadí do kategorie chemické agresivity prostředí XA1. Studna S31 vykázala zvýšené koncentrace obou zmíněných látek, studna S32 také, ale s vyšším obsahem síranových iontů, voda z těchto studní tak spadá do stupně XA2. Podzemní voda v perucko-korycanském souvrství v zájmovém území je převážně kalcium-síranová s téměř neutrálním pH (6,8 – 7,2), obsahem SO₄²⁻ v rozmezí 50 – 1200 mg·l⁻¹, maximální hodnotou agresivního CO₂ 37 mg·l⁻¹ a průměrnou celkovou mineralizací 1440 mg·l⁻¹. Šimek (1966) pro křídové horniny uvádí neutrální až alkalické pH, velmi nízké obsahy SO₄²⁻ a téměř nulové hodnoty agresivního oxidu uhličitého, nicméně na kontaktu křídových a ordovických hornin připouští vyšší hodnoty uvedených složek podzemní vody, což je i případ zájmového území, kde mocnost křídových sedimentů nebude velká.

Vrt/Studna	SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	pH	CO ₂ agr. na vápno [mg·l ⁻¹]	NH ₄ ⁺ [mg·l ⁻¹]	Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	ČSN EN 206
J25	46,1	6,9	18,8	0,2	7,8	XA1
J26	346,0	7,2	8,1	0,3	25,2	XA1
J27	335,7	7,2	7,9	0,1	24,3	XA1
S31	294,6	6,8	37,0	0,1	20,8	XA2
S32	1206,0	7,1	19,3	0,6	173,6	XA2

Tabulka 13 Chemické rozborů agresivních složek v perucko-korycanském souvrství



Graf 8 Znárodnění hlavních ukazatelů agresivity na beton v perucko-korycanském souvrství

8.1.1 Vyhodnocení nově provedených chemických rozborů

Podle slov majitelů studní je voda používána pouze jako užitková nikoliv pitná. Všechny odebrané vzorky vykázaly nulovou hodnotu agresivního CO₂, což bylo způsobeno stojatou vodou v kopaných studních, jejichž objem nebylo možné třikrát vyčerpat pro splnění správného postupu odběru vzorku podzemní vody. Dle obsahu volného CO₂ ve vzorcích podzemní vody ukazuje na vysoký stupeň chemické agresivity prostředí pouze vzorek ze studny S25 ve vinickém souvrství při porovnání s archivními chemickými rozborů.

Vzorek podzemní vody odebraný ze studny S1 v dobrotivském souvrství se projevil nízkou agresivitou síranů XA1 a jedná se o vodu kalcium-síranovou. Stejnou agresivitu i typ vody vykázaly archivní chemické rozborů provedené v dobrotivském souvrství. Nově provedená analýza souhlasí s archivním rozbořem provedeným ve studni S1 až na

obsah amonných iontů, které se v novém vzorku neprojevily, celkově tedy došlo ke snížení agresivity ze stupně XA2 na XA1.

Vzorek podzemní vody ze studny S4 v libeňských břidlicích libeňského souvrství vykazuje zvýšený obsah SO_4^{2-} dosahující chemické agresivity prostředí XA1, ale kvůli své kyselosti spadá do kategorie XA2. Voda je kalcium-síranová. Vzorek podzemní vody vykázal stejnou agresivitu síranových iontů jako archivní chemické rozborů provedené v libeňských břidlicích, ale výrazně nižší pH. Agresivita podzemní vody se v porovnání s archivními daty v libeňských břidlicích zvýšila, ale v porovnání s původní analýzou ze studny S4 zůstala stejná.

Vzorek podzemní vody odebraný ze studny S25 ve vinickém souvrství se projevil výrazně nízkým pH spadajícím do kategorie XA3 a obsahem síranových iontů v kategorii XA2. Znovu se jedná o kalcium-síranovou vodu. Vzorek celkově odpovídá archivním chemickým rozborům až na obsah agresivního CO_2 , který se ve stojaté vodě neudrží. Nicméně ve srovnání archivního rozboru ze studny S25 se agresivita zvýšila ze stupně XA0 na stupeň XA3 a to především kvůli kyselému pH, což by mohlo být způsobeno tím, že archivní chemický rozbor charakterizoval spíše vodu z kvartérních uloženin.

Vzorek podzemní vody odebraný ze studny S28 v zahořanského souvrství obsahuje zvýšené koncentrace Mg^{2+} způsobující nízkou agresivitu XA1 a SO_4^{2-} způsobující střední agresivitu XA2. Jde o magnezium-síranovou vodu. Výsledek chemické analýzy nově odebraného vzorku odpovídá archivním rozborům zahořanského souvrství, ale v porovnání s archivní analýzou ve studni S28 se podle hodnot agresivně působících složek agresivita podzemní vody snížila.

Studna	Souvrství	SO_4^{2-} [mg·l ⁻¹]	pH	CO_2 agr. [mg·l ⁻¹]	NH_4^+ [mg·l ⁻¹]	Mg^{2+} [mg·l ⁻¹]	ČSN EN 206
S1	Dobrotivské	288,0	7,2	0,0	0,0	42,6	XA1
S4	Libeňské	240,0	5,2	0,0	0,0	21,9	XA2
S25	Vinické	1440,0	4,1	0,0	0,3	81,5	XA3
S28	Zahořanské	2786,0	6,7	0,0	0,0	418,0	XA2

Tabulka 14 Chemické rozborů agresivních složek z nově odebraných vzorků

8.2 VYHODNOCENÍ AGRESIVITY NA OCEL

Agresivita vody na ocel byla vyhodnocena podle platných norem ČSN 03 8372 Zásady ochrany proti korozi nelineových zařízení uložených v zemi nebo ve vodě a ČSN 03 8375 Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi. Podle těchto norem se jako agresivní ukazatele zvažují vodivost vody, pH vody, obsah SO_3^{2-} dohromady s Cl^- a agresivní CO_2 , přičemž hodnoty siřičitanů SO_3^{2-} nebyly v rozbořech stanoveny, jsou proto zvažovány pouze hodnoty iontů Cl^- . Norma zohledňuje i agresivitu půd a hornin na ocel, tato práce se již tímto tématem nezabývá.

Kompletní chemické rozbořy využité pro vyhodnocení agresivity vody na ocel jsou přiložené v příloze č. 1 a 2. Z celkem 59 vzorků se 58 projevilo velmi vysokou agresivitou prostředí, tedy stupněm IV. a pouze v jednom případě u vrtu J14 zvýšenou odpovídající stupni III. U těchto dvou stupňů je nutné použít zesílenou izolaci. Nejvyšší stupeň agresivity v použitých analýzách byl zjištěn v 54 rozbořech u vodivosti vody, u oxidu uhličitého agresivního na železo ve 44, u pH v 8 a u chloridových iontů pouze ve 2 rozbořech.

9 ZÁVĚR

Z chemických rozborů, u kterých byly stanoveny agresivně působící složky (SO_4^{2-} , pH, CO_2 , NH_4^+ a Mg^{2+}) a celková mineralizace vyplývá, že horninové prostředí se na chemickém složení podzemní vody v zájmovém území podílí velice významně. Avšak nelze předpokládat, že výsledky chemických analýz budou v každém místě souvrství shodné, jelikož chemismus vody je ovlivněn rychlostí proudění podzemní vody, tedy dobou kontaktu vody s horninovým prostředím, lokálním složením horniny a i jejími akcesoriemi zejména pyritem. Různé výsledky agresivity podzemní vody od autorů Šimka (1980) a Kovandy et al. (2001) ukazují na to, že se nelze spoléhat na archivní zprávy a chemické rozborů vzorků podzemní vody provedených ve stejných souvrstvích na vzdálených lokalitách. Agresivita podzemní vody je tedy lokálním problémem a je nutné ji při každé výstavbě zasahující do hloubek, kde se hladina podzemní vody vyskytuje nebo by tam mohla vystoupat, zhodnotit.

Podzemní voda v ordovických souvrstvích vyskytujících se v zájmovém území je většinou silně mineralizována a je kalcium-síranová. V zájmovém území podzemní voda dobrotivského a libeňského souvrství není agresivní nebo dosahuje jen nízké agresivity a to především síranovými ionty. Podzemní voda letenského a vinického souvrství v zájmovém území vykazuje hodnoty nízké, střední i vysoké agresivity a to hned třemi agresivně působícími látkami (SO_4^{2-} , pH, CO_2). Podzemní voda zahořanského souvrství vykazovala především střední agresivitu síranovými ionty. Podzemní voda perucko-korycanského souvrství vykazuje podobnou agresivitu jako souvrství letenské, na kterém spočívá.

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- ALEKIN, Oleg Aleksandrovich. *Osnovy gidrochimii. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1953.*
- BERGSTRÖM, Stig M. - XU, Chen - GUTIÉRREZ-MARCO, Juan Carlos - DRONOV, Andrei. *The new chronostratigraphic classification of the Ordovician System and its relations to major regional series and stages and to $\delta^{13}C$ chemostratigraphy.* Lethaia, 2009, roč 42, č. 1, s. 97-107. DOI: 10.1111/j.1502-3931.2008.00136.x. ISSN 00241164. Dostupné také z: <http://doi.wiley.com/10.1111/j.1502-3931.2008.00136.x>.
- COHEN, K. M. - FINNEY, S. C. - GIBBARD, P. L. - FAN, J.-X. *The ICS International Chronostratigraphic Chart.* 2016. Dostupné také z: <http://www.stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2016-04.pdf>.
- ČSN 03 8372. *Zásady ochrany proti korozi neliniových zařízení uložených v zemi nebo ve vodě.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci a měření, 1977, 20 s.
- ČSN 03 8375. *Ochrana kovových potrubí uložených v půdě nebo ve vodě proti korozi.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci a měření, 1987, 24 s.
- ČSN EN 12954. *Katodická ochrana kovových zařízení uložených v půdě nebo ve vodě – Všeobecné zásady a aplikace na potrubí.* Praha: Český normalizační institut, 2001, 32 s.
- ČSN EN 206. *Beton - Specifikace, vlastnosti, výroba a shoda.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014, 88 s.
- ČSN EN 52162. *Ochrana před korozí bludnými proudy ze stejnosměrných proudových soustav.* Praha: Český normalizační institut, 2005, 32 s.
- ČSN ISO 6107-2. *Jakost vod – Slovník – Část 2.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009, 28 s.
- HAVLÍČEK, Vladimír. *Ordovician in Bohemia: Development of the Prague Basin and its benthic communities.* In: *Sborník geologických věd, Geologie 37.* Praha: Academia, 1982, s. 103-136.

- HERČÍK, Ferdinand - HERRMANN, Zdeněk - VALEČKA, Jaroslav. *Hydrogeologie české křídové pánve*. Praha: Český geologický ústav, 1999, 115 s. ISBN 80-7075-309-9.
- CHLUPÁČ, Ivo. *Geology of the Barrandian: a field trip guide*. Frankfurt am Main: W. Kramer, 1993, 163 s. ISBN 37-829-1126-1.
- CHLUPÁČ, Ivo. *Vycházky za geologickou minulostí Prahy a okolí*. Praha: Academia, 1999, 279 s.
- CHLUPÁČ, Ivo - BRZOBOHATÝ, Rostislav - KOVANDA, Jiří - STRÁNÍK, Zdeněk. *Geologická minulost České republiky*. Praha: Academia, 2002, 436 s. ISBN 80-200-0914-0.
- CHLUPÁČ, Ivo - BRZOBOHATÝ, Rostislav - KOVANDA, Jiří - STRÁNÍK, Zdeněk. *Geologická minulost České republiky*. Praha: Academia, 2011, 436 s. ISBN 978-80-200-1961-5.
- CHLUPÁČ, Ivo - HAVLÍČEK, Vladimír - KŘÍŽ, Jiří - KUKAL, Zdeněk - ŠTORCH, Petr. *Paleozoikum Barrandienu (KAMBRIUM-DEVON)*. Praha: Český geologický ústav, 1992, 292 s. ISBN 80-7075-055-3.
- CHLUPÁČ, Ivo - KUKAL, Zdeněk. *Possible global events and the stratigraphy of the Barrandian Paleozoic*. In: *Sborník geologických věd, Geologie 43*. Praha: Academia, 1988, s. 83-146.
- KOVANDA, J. - BALATKA, B. - BERNARD, J. - BRUNNEROVÁ, Z. - BŘEZINOVÁ, D. - BUKANOVSKÁ, M. - CÍLEK, V. - FRIDRICHOVÁ, M. - HAVLÍČEK, V. - HOLUB, V. - HRDLÍČKA, L. - KADLECOVÁ, R. - KACHLÍK, V. - KAPRASOVÁ, E. - KLEČEK, M. - KRÁL, J. - KRÍŽ, J. - LOCHMAN, Z. - LYSSENKO, V. - MAŠEK, J. - ŠALANSKÝ, K. - TOMÁŠEK, M. - ZELENKA, P. *Neživá příroda Prahy a jejího okolí*. Praha: Academia, 2001, 215 s. ISBN 80-200-0835-7.
- KUKAL, Zdeněk. *Vývoj sedimentů Českého masívu*. Praha: Ústřední ústav geologický, 1985, 221 s.

- MERKEL, Broder - PLANER-FRIEDRICH, B. - NORDSTROM, Darrell Kirk. Groundwater geochemistry: a practical guide to modeling of natural and contaminated aquatic systems. Berlín, 2. vydání, Springer, 2008, 230 s. ISBN 9783540746683-.
- MĚSKA, Gustav - PRANTL, Ferdinand. *O křemencích skaleckých nového oddílu středočeského ordoviku*. Praha: Stát. geol. úst. XX. 1946.
- PITTER, Pavel. *Hydrochemie*. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, 2015, 792 s. ISBN 978-80-7080-928-0
- ŠANTRŮČEK, Pravoslav. *Jílovité břidlice širšího okolí pražského a jejich použitelnost v cihlářském průmyslu*. 1952, 92 s.
- ŠIMEK, Rudolf. *Vliv podzemní vody v Praze na inženýrsko-geologické podmínky výstavby města*. Praha: Geologický ústav ČSAV Praha, 1966, 122 s.
- ŠOLC, Jiří. *Podrobná inženýrskogeologická mapa 1:5000, list Praha 2-3*. Praha: Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, 1980.
- ŠOLC, Jiří. *Průvodní zpráva k podrobné inženýrskogeologické mapě 1:5000 list Praha 2-3*. Praha: Projektový ústav dopravních a inženýrských staveb, 1980, 63 s.
- ZÁRUBA, Quido. *Geologický podklad a základové poměry vnitřní Prahy*. Praha: Státní geologický ústav Československé republiky, 1948, 83 s.
- ZÁRUBA-PFEFFERMANN, Quido. *Podélný profil vltavskými terasami mezi Kamýkem a Veltrusy*. In: *Rozpravy České akademie věd a umění, svazek 52*. Praha: Česká akademie věd a umění, 1943, 39 s.
- ZHARKOVA, Nadezda. Groundwater aggressiveness as an important factor of engineering-geological conditions in the Kazan city (Russia). Proceedings of the International Multidisciplinary Scientific GeoConference: Conference Proceeding, 2012, roč. 2, s. 117-126. DOI: 10.5593/sgem2012/s02.v2016. Dostupné také z: <http://sgem.org/sgemlib/spip.php?article1943>.

11 SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obrázek 1 Lokalizace zájmového území (Zdroj Google Earth, datum snímku: 2. 4. 2016, datum odebrání snímku: 11. 12. 2016)	13
Obrázek 2 Ilustrační fotografie sádrovce.....	25
Tabulka 1 Stratigrafie Barrandienu v ordoviku (Havlíček, 1967 – 1992) a křídly v zájmovém území (Herčík et al, 1999) s uvedenými obecnými mocnostmi jednotlivých souvrství podle uvedených autorů	15
Tabulka 2 Opatření proti agresivitě podzemní vody (ČSN EN 206, červenec 2014)	28
Tabulka 3 Souřadnice vrtů v souřadném systému S-JTSK a výškovém systému Balt po vyrovnání	33
Tabulka 4 Souřadnice studní v souřadném systému S-JTSK a výškovém systému Balt po vyrovnání	34
Tabulka 5 Mezní hodnoty pro stupně chemického působení podzemní vody na betonové konstrukce (ČSN EN 206, červenec 2014).....	35
Tabulka 6 Mezní hodnoty pro stupně agresivity vody na ocel (ČSN 03 8372, listopad 1987 a ČSN 03 8375, duben 1978).....	35
Tabulka 7 Množství chemických rozborů a jednotlivých stupňů agresivit v jednotlivých souvrstvích	36
Tabulka 8 Chemické rozborů agresivních složek v dobrotivském souvrství	37
Tabulka 9 Chemické rozborů agresivních složek v libeňském souvrství.....	38
Tabulka 10 Chemické rozborů agresivních složek v letenském souvrství	40
Tabulka 11 Chemické rozborů agresivních složek ve vinickém souvrství.....	42
Tabulka 12 Chemické rozborů agresivních složek v zahořanském souvrství	44
Tabulka 13 Chemické rozborů agresivních složek v perucko-korycanském souvrství..	46
Tabulka 14 Chemické rozborů agresivních složek z nově odebraných vzorků.....	47

Graf 1 Znázornění hlavních ukazatelů agresivity na beton v dobrotivském souvrství...	37
Graf 2 Znázornění hlavních ukazatelů agresivity na beton v libeňském souvrství	39
Graf 3 Znázornění hlavních ukazatelů (SO_4^{2-} , CO_2) agresivity na beton v letenském souvrství.....	41
Graf 4 Znázornění hlavních ukazatelů (pH) agresivity na beton v letenském souvrství	41
Graf 5 Znázornění hlavních ukazatelů (SO_4^{2-} , CO_2) agresivity na beton ve vinickém souvrství.....	43
Graf 6 Znázornění hlavních ukazatelů (pH) agresivity na beton ve vinickém souvrství	43
Graf 7 Znázornění hlavních ukazatelů agresivity na beton v zahořanském souvrství....	45
Graf 8 Znázornění hlavních ukazatelů agresivity na beton v perucko-korycanském souvrství.....	46

12 PŘÍLOHY

12.1 CHEMICKÉ ROZBORY VZORKŮ PODZEMNÍ VODY Z VRTŮ

Vrt	J1	J2	J3	J4
Souvrství	Dobrotivské	Dobrotivské	Dobrotivské	Libeňské (řevnické vrstvy)
Naražená hladina podzemní vody [m od terénu]	2,80	-	2,80	-
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	0,70	1,15	1,80	2,20
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	0,70	1,15	1,80	2,20
pH	7,2	7,9	7,3	7,0
Tvrдость celková [mmol·l ⁻¹]	4,9	8,0	6,2	5,0
Tvrдость přechodná [mmol·l ⁻¹]	2,1	2,9	2,2	2,2
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	159,0	286,4	200,5	143,2
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	23,4	21,7	28,6	34,7
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	34,0	17,0	50,0	27,0
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	1,6	1,4	43,0	15,0
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,1	0,1	1,7	0,0
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	0,0	0,0	0,0
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	0,0	0,0	0,3
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	249,8	380,3	325,5	215,8
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	69,4	54,6	115,5	71,2
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	262,4	360,0	274,6	268,5
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	32,0	80,0	58,0	38,0
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	740	1145	1073	775
Specifická vodivost [mS·m ⁻¹]	91,5	135,2	129,6	96,7
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	44,0	17,6	35,2	39,6
CO ₂ agresivní na vápno [mg·l ⁻¹]	12,6	0,0	6,3	9,4
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]	23,5	0,0	11,2	17,4
Hloubka vrtu [m]	3,00	2,70	3,00	6,00
Hloubka skalního podkladu [m]	2,20	1,60	2,30	1,30
Původní označení vrtu	W95	E3	W83	J94C

Vrt	J5	J6	J7	J8
Souvrství	Libeňské (libeňské vrstvy)	Libeňské (libeňské vrstvy)	Libeňské (libeňské vrstvy)	Letenské (libeňské vrstvy)
Naražená hladina podzemní vody [m od terénu]	-	-	1,70	2,80
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	4,70	3,10	1,50	1,20
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	4,70	3,10	1,50	1,20
pH	7,2	7,2	7,2	6,3
Tvrdost celková [mmol·l ⁻¹]	4,7	5,1	4,8	6,3
Tvrdost přechodná [mmol·l ⁻¹]	2,1	4,5	1,9	0,5
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	143,2	118,9	131,7	189,0
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	28,6	52,1	36,5	38,2
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	11,0	55,0	17,0	33,0
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	3,0	12,0	3,0	4,4
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	0,1	2,0	2,5
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	0,0	0,2	0,0
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	0,1	0,0	0,5
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	195,3	37,7	260,5	500,2
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	53,2	92,9	40,0	72,2
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	262,4	549,2	225,8	61,0
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	15,0	24,0	3,0	39,0
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	705	757	650	920
Specifická vodivost [mS·m ⁻¹]	87,3	105,8	82,8	109,8
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	19,8	50,6	26,4	57,2
CO ₂ agresivní na vápno [mg·l ⁻¹]	0,0	0,0	8,0	48,3
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]	0,0	0,0	14,2	56,6
Hloubka vrtu [m]	10,00	8,00	7,00	4,30
Hloubka skalního podkladu [m]	9,30	> 8,00	6,20	1,40
Původní označení vrtu	J93C	J63	W92	W79

Vrt	J9	J10	J11	J12
Souvrství	Letenské	Letenské	Letenské	Letenské
Naražená hladina podzemní vody [m od terénu]	4,50	0,80	2,60	-
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	1,90	0,70	1,20	2,00
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	1,90	0,70	5,60	2,00
pH	6,8	6,5	6,6	4,6
Tvrdost celková [mmol·l ⁻¹]	7,2	3,7	5,8	7,5
Tvrdost přechodná [mmol·l ⁻¹]	0,9	0,8	1,1	0,1
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	229,1	117,4	177,6	252,0
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	36,5	19,1	33,0	30,4
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	31,0	25,0	23,0	37,0
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	1,6	1,3	11,0	9,6
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	1,0	1,0	0,2	2,0
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,1	0,0	-	0,2
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	0,3	0,2	0,5	1,2
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	416,1	285,5	380,3	627,0
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	140,7	46,2	67,2	88,2
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	115,9	97,6	128,1	12,2
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	74,0	10,0	51,0	74,0
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	968	560	862	1105
Specifická vodivost [mS·m ⁻¹]	130,9	70,9	104,5	138,4
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	39,6	52,8	35,2	44,0
CO ₂ agresivní na vápno [mg·l ⁻¹]	30,1	41,4	25,8	41,6
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]	37,6	51,4	32,7	44,0
Hloubka vrtu [m]	6,00	5,00	5,60	3,20
Hloubka skalního podkladu [m]	5,90	> 5,00	1,30	1,80
Původní označení vrtu	W96	W47A	V4	W52

Vrt	J13	J14	J15	J16
Souvrství	Vinické	Zahořanské	Zahořanské	Vinické
Naražená hladina podzemní vody [m od terénu]	-	4,00	-	-
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	2,20	3,75	5,05	2,20
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	2,20	-	-	2,20
pH	6,9	7,4	7,3	4,4
Tvrdost celková [mmol·l ⁻¹]	12,6	-	-	21,3
Tvrdost přechodná [mmol·l ⁻¹]	0,6	-	-	0,1
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	338,0	559,0	471,0	506,9
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	102,4	344,0	294,0	211,8
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	82,0	-	-	88,0
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	9,0	-	-	7,8
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,5	-	-	9,1
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	-	-	0,2
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	0,4	0,1	0,2	1,3
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	1062,1	2460,0	1540,0	2103,5
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	175,0	277,0	473,0	93,8
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	67,1	372,0	348,0	18,3
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	50,0	-	-	20,0
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	1888	-	-	3003
Specifická vodivost [mS·m ⁻¹]	216,0	42,4	36,4	334,3
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	13,2	37,4	22,0	176,0
CO ₂ agresivní na vápno [mg·l ⁻¹]	12,0	0,0	0,0	122,2
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]	12,5	0,0	0,0	176,0
Hloubka vrtu [m]	2,70	8,00	8,00	4,00
Hloubka skalního podkladu [m]	1,50	3,20	3,00	1,30
Původní označení vrtu	W87	J15	J18	W51

Vrt	J17	J18	J19	J20
Souvrství	Vinické	Vinické	Vinické	Vinické
Naražená hladina podzemní vody [m od terénu]	2,10	0,90	-	1,00
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	0,85	0,70	1,70	0,80
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	0,85	0,70	1,70	0,80
pH	4,1	4,9	5,2	6,4
Tvrdost celková [mmol·l ⁻¹]	5,5	5,9	4,1	6,6
Tvrdost přechodná [mmol·l ⁻¹]	0,0	0,1	0,1	0,9
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	128,9	160,4	100,2	184,7
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	55,6	46,9	38,2	49,5
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	38,0	50,0	27,0	46,0
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	11,0	4,8	17,0	4,0
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	4,1	0,0	1,0	8,6
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	35,0	0,2	0,4	9,8
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	3,2	0,4	0,8	7,9
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	650,9	534,5	286,1	534,5
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	28,0	75,6	60,2	126,0
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	0,0	6,1	6,1	109,8
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	2,0	52,0	117,0	2,0
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	880	922	658	1060
Specifická vodivost [mS·m ⁻¹]	114,9	119,3	80,6	130,4
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	vzorek obsahuje kyselé snadno hydrolyzovatelné soli silných kyselin, eventuelně volné silné kyseliny	61,6	30,8	176,0
CO ₂ agresivní na vápno [mg·l ⁻¹]		51,5	30,0	106,0
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]		61,6	30,8	174,2
Hloubka vrtu [m]	4,00	4,50	3,50	4,00
Hloubka skalního podkladu [m]	0,85	1,90	0,30	2,30
Původní označení vrtu	W31	W18	W8	W6

Vrt	J21	J22	J23	J24
Souvrství	Vinické	Vinické	Zahořanské	Zahořanské
Naražená hladina podzemní vody [m od terénu]	2,50	3,60	-	3,40
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	2,50	0,90	2,85	1,70
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	2,50	-	2,85	1,7
pH	4,5	5,6	6,9	6,8
Tvrdost celková [mmol·l ⁻¹]	12,5	-	18,3	-
Tvrdost přechodná [mmol·l ⁻¹]	0,0	-	1,7	-
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	350,8	388,0	428,2	515,5
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	91,1	151,0	184,9	191,0
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	85,0	-	98,0	54,0
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	10,0	-	16,0	5,8
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	4,6	-	0,3	0,2
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	1,6	-	0,0	0,3
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	4,1	0,2	0,4	0,2
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	1226,5	1510,0	1733,6	1507,4
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	122,6	87,5	42,0	201,3
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	3,1	24,4	207,5	424,0
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	30,0	-	21,0	2,8
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	1883	-	2674	2808
Specifická vodivost [mS·m ⁻¹]	211,0	23,0	297,4	309,1
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	178,2	55,0	44,0	52,8
CO ₂ agresivní na vápno [mg·l ⁻¹]	125,9	68,2	21,4	0,0
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]	178,2	55,0	34,8	0,0
Hloubka vrtu [m]	3,50	6,00	3,50	8,00
Hloubka skalního podkladu [m]	1,30	2,00	1,40	3,50
Původní označení vrtu	W66	HJ11	W65	J20

Vrt	J25	J26	J27
Souvrství	Perucko-korycanské	Perucko-korycanské	Perucko-korycanské
Naražená hladina podzemní vody [m od terénu]	3,60	-	-
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	1,40	4,80	4,60
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	1,40	4,80	4,60
pH	6,9	7,2	7,2
Tvrdost celková [mmol·l ⁻¹]	1,1	5,6	4,6
Tvrdost přechodná [mmol·l ⁻¹]	0,7	0,5	0,6
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	30,1	183,3	146,1
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	7,8	25,2	24,3
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	14,0	21,0	13,0
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	2,2	18,0	15,0
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,3	0,0	0,0
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,9	0,0	0,0
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	0,2	0,3	0,1
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	46,1	346,0	335,7
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	8,4	73,5	30,8
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	88,5	61,0	67,1
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	0,0	148,0	68,0
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	189	859	703
Specifická vodivost [mS·m ⁻¹]	23,7	108,8	85,3
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	22,0	8,8	8,8
CO ₂ agresivní na vápno [mg·l ⁻¹]	18,8	8,1	7,9
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]	21,0	8,2	8,1
Hloubka vrtu [m]	7,00	8,00	6,00
Hloubka skalního podkladu [m]	3,10	2,30	0,30
Původní označení vrtu	W22	J34	J43

12.2 CHEMICKÉ ROZBORY VZORKŮ PODZEMNÍ VODY ZE STUDNÍ

Studna	S1	S2	S3	S4
Souvrství	Dobrotivské	Dobrotivské	Libeňské (řevnické vrstvy)	Libeňské (libeňské vrstvy)
Naražená hladina podzemní vody [m od terénu]	2,90	2,95	9,10	6,70
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	0,60	0,80	2,10	4,20
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	1,20	0,80	2,10	4,20
pH	7,6	7,4	6,8	7,0
Tvrdost celková [mmol·l ⁻¹]	5,0	2,8	2,7	3,6
Tvrdost přechodná [mmol·l ⁻¹]	2,2	2,1	0,8	0,9
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	166,1	97,4	88,8	100,2
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	20,8	8,7	12,2	26,0
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	14,0	16,0	12,0	36,0
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	13,0	6,0	6,0	62,0
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,1	0,0	0,0	0,1
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	0,0	0,0	0,0
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	16,8	0,2	0,1	0,4
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	217,4	68,5	155,7	233,0
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	65,8	14,7	18,2	72,8
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	274,6	262,4	97,6	115,9
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	49,0	10,0	33,0	83,0
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	757	396	424	688
Specifická vodivost [mS·m ⁻¹]	96,1	51,5	51,5	83,5
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	28,6	19,8	26,4	24,2
CO ₂ agresivní na vápno [mg·l ⁻¹]	1,9	0,0	21,7	18,7
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]	4,6	0,0	25,0	22,2
Původní označení studny	S13	S9	S15	S5

Studna	S5	S6	S7	S8
Souvrství	Libeňské	Libeňské	Letenské	Letenské
Naražená hladina podzemní vody [m od terénu]	1,80	1,45	1,25	3,80
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	0,55	0,90	0,40	2,30
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	0,55	0,90	0,40	2,30
pH	6,8	7,5	7,2	6,8
Tvrdost celková [mmol·l ⁻¹]	4,9	5,0	6,5	7,2
Tvrdost přechodná [mmol·l ⁻¹]	1,7	2,4	3,5	1,3
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	137,5	137,5	183,3	206,2
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	36,5	38,2	46,9	50,3
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	25,0	77,0	95,0	63,0
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	42,0	102,0	225,0	95,0
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,1	0,0	2,5	0,2
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	0,0	0,0	0,0
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	0,4	0,2	1,7	0,2
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	260,4	226,1	383,7	479,1
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	90,3	185,5	198,8	127,4
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	210,6	286,8	433,2	155,7
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	28,0	78,0	136,0	202,0
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	737	1084	1618	1371
Specifická vodivost [mS·m ⁻¹]	99,2	140,7	199,3	167,8
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	61,6	22,0	70,4	57,2
CO ₂ agresivní na vápno [mg·l ⁻¹]	31,2	0,0	0,0	36,8
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]	52,4	0,0	0,0	53,3
Původní označení studny	S3	S26	S20	S53

Studna	S9	S10	S11	S12
Souvrství	Letenské	Letenské	Letenské	Letenské
Naražená hladina podzemní vody [m od terénu]	4,10	1,10	3,60	2,50
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	2,10	0,30	2,00	1,20
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	2,10	1,50	2,00	1,20
pH	7,3	7,0	7,1	7,3
Tvrdost celková [mmol·l ⁻¹]	8,2	8,6	5,6	2,8
Tvrdost přechodná [mmol·l ⁻¹]	2,6	1,9	1,5	1,4
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	254,9	246,3	183,3	97,4
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	46,0	59,9	26,0	9,6
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	105,0	61,0	146,0	38,0
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	41,0	33,0	21,0	48,0
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,2	0,2	0,2	0,0
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	0,0	0,0	0,0
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	4,2	0,9	0,6	0,4
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	421,1	510,5	364,3	152,0
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	221,2	172,2	228,2	50,4
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	317,3	231,9	186,2	170,9
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	128,0	86,0	62,0	64,0
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	1467	1369	1148	596
Specifická vodivost [mS·m ⁻¹]	178,1	160,3	149,3	74,6
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	39,6	39,6	22,0	13,2
CO ₂ agresivní na vápno [mg·l ⁻¹]	0,0	15,3	10,3	5,8
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]	0,0	26,2	15,7	8,0
Původní označení studny	S49	S47	S85	S88

Studna	S13	S14	S15	S16
Souvrství	Letenské	Letenské	Letenské	Letenské
Naražená hladina podzemní vody [m od terénu]	4,50	1,45	2,15	4,15
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	2,10	0,65	0,90	2,15
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	2,10	0,65	0,90	2,15
pH	6,8	6,9	7,0	7,0
Tvrdost celková [mmol·l ⁻¹]	3,9	6,3	7,5	6,8
Tvrdost přechodná [mmol·l ⁻¹]	0,7	1,6	1,2	1,6
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	117,4	191,9	243,4	203,3
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	22,6	38,2	33,9	43,4
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	86,0	83,0	50,0	31,0
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	48,0	20,0	16,0	30,0
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,1	0,5	0,0	0,0
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	0,7	0,0	0,0
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	0,1	0,7	0,3	0,1
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	277,2	445,4	455,7	417,7
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	109,2	143,5	137,2	79,8
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	91,5	192,3	146,4	189,2
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	128,0	28,0	94,0	106,0
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	858	1130	1142	1105
Specifická vodivost [mS·m ⁻¹]	104,0	138,1	136,6	124,1
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	52,8	44,0	26,4	52,8
CO ₂ agresivní na vápno [mg·l ⁻¹]	42,1	23,6	17,6	29,3
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]	51,6	37,1	22,9	45,9
Původní označení studny	S58	S71	S44	S34

Studna	S17	S18	S19	S20
Souvrství	Letenské	Letenské	Letenské	Letenské
Naražená hladina podzemní vody [m od terénu]	2,35	0,65	3,00	1,60
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	0,90	0,65	1,80	1,20
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	1,10	0,65	1,80	1,20
pH	6,8	6,8	7,2	7,0
Tvrdost celková [mmol·l ⁻¹]	5,1	4,4	4,0	3,9
Tvrdost přechodná [mmol·l ⁻¹]	1,1	0,7	1,2	1,1
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	148,9	133,2	133,2	117,4
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	34,7	26,9	17,4	24,3
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	50,0	44,0	42,0	16,0
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	10,0	7,4	52,0	25,0
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	0,0	0,0	0,1
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	0,0	0,0	0,0
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	0,2	0,6	0,4	0,7
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	315,2	275,2	249,5	241,0
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	116,2	95,9	42,7	44,8
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	137,3	85,4	146,4	128,1
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	34,0	60,0	145,0	41,0
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	828	712	793	577
Specifická vodivost [mS·m ⁻¹]	105,5	90,1	97,0	73,8
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	48,4	30,8	8,8	24,2
CO ₂ agresivní na vápno [mg·l ⁻¹]	33,7	26,2	3,7	17,7
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]	45,6	29,8	5,3	21,7
Původní označení studny	S21	S22	S70	S32

Studna	S21	S22	S23	S24
Souvrství	Letenské	Letenské	Vinické	Vinické
Naražená hladina podzemní vody [m od terénu]	3,00	0,80	0,50	3,25
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	2,25	0,50	0,30	1,00
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	2,25	0,50	0,30	1,00
pH	6,5	6,9	7,3	7,7
Tvrdost celková [mmol·l ⁻¹]	4,4	9,6	3,6	18,7
Tvrdost přechodná [mmol·l ⁻¹]	0,4	1,1	0,7	2,4
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	140,3	296,4	114,5	481,2
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	22,6	53,0	18,2	163,2
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	71,0	48,0	31,0	68,0
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	52,0	22,0	9,3	22,0
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,3	0,0	0,1	0,1
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	0,0	0,0	0,2
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	1,3	0,0	0,1	1,3
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	384,5	575,6	287,8	1617,1
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	88,4	193,9	44,8	76,3
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	48,8	134,2	91,5	299,0
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	122,0	118,0	7,0	10,0
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	934	1360	564	2639
Specifická vodivost [mS·m ⁻¹]	111,1	171,1	73,8	257,5
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	26,4	52,8	8,8	17,6
CO ₂ agresivní na vápno [mg·l ⁻¹]	24,5	37,1	7,2	0,0
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]	26,0	50,0	7,6	0,0
Původní označení studny	S63	S99	S100	S79

Studna	S25	S26	S27	S28
Souvrství	Vinické	Vinické	Zahořanské	Zahořanské
Naražená hladina podzemní vody [m od terénu]	3,45	0,85	1,95	1,05
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	1,20	0,90	1,55	1,05
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	2,00	1,10	1,55	1,05
pH	6,8	4,8	7,4	7,8
Tvrdost celková [mmol·l ⁻¹]	1,1	10,3	9,8	51,4
Tvrdost přechodná [mmol·l ⁻¹]	0,4	0,1	1,5	4,7
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	37,2	293,6	272,1	401,0
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	5,2	72,0	72,9	1006,9
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	5,9	63,0	31,0	242,0
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	8,7	24,0	7,8	36,0
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	3,3	0,0	0,0
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,1	0,0	0,0	0,1
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	0,1	1,8	0,3	0,0
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	82,2	1034,7	794,8	4967,7
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	6,3	77,7	18,2	34,3
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	54,9	9,2	180,1	573,6
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	2,0	20,0	57,0	8,0
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	184	1610	1402	7197
Specifická vodivost [mS·m ⁻¹]	24,3	181,2	155,9	683,9
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	13,2	96,8	8,8	22,0
CO ₂ agresivní na vápno [mg·l ⁻¹]	12,3	81,2	0,9	0,0
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]	12,7	96,8	3,1	0,0
Původní označení studny	S80	S102	S1	S108

Studna	S29	S30	S31	S32
Souvrství	Zahořanské	Zahořanské	Perucko-korycanské	Perucko-korycanské
Naražená hladina podzemní vody [m od terénu]	6,15	3,60	3,25	5,40
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	5,80	2,00	1,75	4,85
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	5,80	2,00	1,75	4,85
pH	7,3	7,8	6,8	7,1
Tvrdost celková [mmol·l ⁻¹]	9,0	7,4	4,4	16,8
Tvrdost přechodná [mmol·l ⁻¹]	1,1	3,0	0,9	2,1
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	263,5	197,6	140,3	389,5
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	59,0	59,9	20,8	173,6
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	28,0	28,0	30,0	720,0
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	33,0	8,7	5,2	140,0
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,1	0,1	0,0	0,1
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	0,0	0,0	0,4
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	0,2	0,0	0,1	0,6
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	664,6	387,1	294,6	1206,0
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	56,0	54,9	37,8	1280,0
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	134,2	366,1	109,8	250,2
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	137,0	45,0	61,0	192,0
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	1338	1017	701	4325
Specifická vodivost [mS·m ⁻¹]	159,8	120,8	78,6	537,2
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	13,2	24,2	48,4	52,8
CO ₂ agresivní na vápno [mg·l ⁻¹]	8,6	0,0	37,0	19,3
CO ₂ agresivní na železo [mg·l ⁻¹]	10,4	0,0	46,6	35,4
Původní označení studny	S105	S93	S92	S94

12.3 NOVĚ PROVEDENÉ CHEMICKÉ ROZBORY VZORKŮ PODZEMNÍ VODY ZE STUDNÍ

Studna	S1	S4	S25	S28
Souvrství	Dobrotivské	Libeňské	Vinické	Zahořanské
Ustálená hladina podzemní vody [m od terénu]	4,50	4,15	2,30	2,15
Hloubka odběru vzorku vody [m od terénu]	4,50	4,15	2,30	2,15
pH	7,2	5,2	4,1	6,7
Tvrdost celková [mmol·l ⁻¹]	6,9	3,1	9,8	30,0
Ca ²⁺ [mg·l ⁻¹]	204,0	86,2	257,0	511,0
Mg ²⁺ [mg·l ⁻¹]	42,6	21,9	81,5	418
Na ⁺ [mg·l ⁻¹]	26,9	21,4	40,3	77,1
K ⁺ [mg·l ⁻¹]	24,2	2,4	2,0	4,8
Mn ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,0	0,7	5,6	0,2
Fe ²⁺ [mg·l ⁻¹]	0,2	0,0	0,7	0,0
NH ⁴⁺ [mg·l ⁻¹]	0,039	<0,025	0,348	0,042
SO ₄ ²⁻ [mg·l ⁻¹]	288,0	240,0	1440,0	2786,0
Cl ⁻ [mg·l ⁻¹]	93,6	44,7	49,6	52,5
HCO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	350,8	15,3	0,0	378,2
NO ₃ ⁻ [mg·l ⁻¹]	106,0	94,6	18,6	42,6
Celková mineralizace [mg·l ⁻¹]	1136	527	1889	4270
CO ₂ volný [mg·l ⁻¹]	3,1	23,3	196,7	12,3
CO ₂ vázaný [mg·l ⁻¹]	253,0	11,0	0,0	272,8
CO ₂ agresivní [mg·l ⁻¹]	0	0	0	0
Původní označení studny	S13	S5	S80	S108

12.4 GEOLOGICKÁ DOKUMENTACE VRTŮ

12.5 SITUACE VRTŮ A STUDNÍ V GEOLOGICKÉ MAPĚ ODKRYTÉ LIST PRAHA 2-3

12.6 GEOLOGICKÝ ŘEZ AA‘